



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN THP  
KENJERAN MENGGUNAKAN STRUKTUR  
*CONCRETE BOX GIRDER* PRATEKAN**

AZKIYA NABILA  
NRP. 3112 100 022

Dosen Pembimbing  
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN THP  
KENJERAN MENGGUNAKAN STRUKTUR  
*CONCRETE BOX GIRDER* PRATEKAN**

AZKIYA NABILA  
NRP. 3112 100 022

Dosen Pembimbing  
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT RC14-501

**THP KENJERAN BRIDGE DESIGN  
MODIFICATION USING PRESTRESSED  
CONCRETE BOX GIRDER**

AZKIYA NABILA  
NRP. 3112 100 022

Advisor  
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN THP  
KENJERAN MENGGUNAKAN STRUKTUR *CONCRETE*  
*BOX GIRDER* PRATEKAN**

**TUGAS AKHIR**

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AZKIYA NABILA**

NRP. 309180022

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D ..... (Pembimbing I)

**SURABAYA  
JANUARI, 2017**

# **MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN THP KENJERAN MENGGUNAKAN STRUKTUR *CONCRETE* *BOX GIRDER* PRATEKAN**

**Nama Mahasiswa : Azkiya Nabila**  
**NRP : 3112 100 22**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Data Iranata, ST., MT., Ph.D**

## **Abstrak**

*Jembatan THP Kenjeran dibangun dengan struktur girder precast pratekan yang terdiri dari beberapa bentang menengah dengan panjang masing-masing bentang sekitar 30 m dengan panjang total jembatan 504,52 m, tidak termasuk side span. Dikarenakan bentang yang pendek, maka di setiap ujung-ujung bentang jembatan harus dibangun pilar-pilar penyangga balok girder. Banyaknya pilar di sepanjang jembatan dapat mengganggu aktivitas pelayaran nelayan. Oleh karena itu direncanakan desain Jembatan THP Kenjeran yang baru dengan struktur jembatan bentang panjang menggunakan struktur box girder segmental pratekan. Tugas Akhir ini hanya merencanakan jembatan dari pilar P1 sampai dengan pilar P4 dengan menghilangkan dua pilar dibawah jembatan tersebut. Panjang rencana jembatan adalah 91,1 m dan memiliki lengkung arah horizontal dengan jari-jari 140 m.*

*Profil box girder dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih ekonomis untuk bentang yang panjang dan besar, interiornya yang dapat digunakan sebagai jalur pipa gas atau air juga memiliki nilai estetika yang dapat menambah keindahan struktur itu sendiri. Box girder memiliki nilai efisiensi struktural tinggi yang dapat meminimalkan kekuatan prestressing yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang diberikan dan untuk pemeliharaannya pun juga mudah.*

*Tahap awal perencanaan adalah pengumpulan data dan studi literatur kemudian dilanjutkan dengan perencanaan struktur*

*sekunder. Selanjutnya yaitu preliminary desain untuk struktur primer. Dengan pembebanan dan penampang yang telah direncanakan kemudian dilakukan analisa dan kontrol struktur atas, selain itu juga diperhitungkan gaya pratekan yang dibutuhkan serta kehilangan gaya pratekan yang mungkin terjadi. Setelah struktur atas telah memenuhi dilanjutkan dengan perencanaan struktur bawah yaitu pilar jembatan.*

*Hasil perencanaan ulang jembatan kejeran adalah sebagai berikut: tinggi penampang box girder adalah 4,5 m dengan lebar pelat atas 16 m dan pelat bawah 10 m. Jumlah tendon yang dibutuhkan adalah 31 unit 6-55. Kolom bangunan bawah direncanakan berukuran 10 m x 3 m dengan tinggi kolom 5,175 m.*

***Kata Kunci: Beton prategang, box girder, jembatan lengkung horizontal, THP kejeran***



# **THP KENJERAN BRIDGE DESIGN MODIFICATION USING PRESTRESSED CONCRETE BOX GIRDER**

**Student** : Azkiya Nabila  
**NRP** : 3112 100 22  
**Department** : Civil Engineering  
**Advisor** : Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

## **Abstract**

*THP Kenjeran bridge built with precast prestressed girder that consists of intermediate spans and the length of each span is about 30 m with total length is 504.52 m, not including side span. Because of the short spans, then at each ends of the bridge span has to be built supporting pillars. The number of pillars along the bridge could interfere the activity of the fisherman. Therefore, THP Kenjeran bridge will be redesign to become long-span bridge structures using prestressed concrete box girder.. This final project only planned bridge from P1 pillar to P4 pillar by eliminating the two pillars under the bridge. The length of the bridge plan is 91.1 m and has a curved horizontal direction with radius of 140 m.*

*Profile box girder is chosen because it has several advantages, that is more economical for long and large spans, the interior can be used as a gas or water pipe lines also have aesthetic value to add to the beauty of the structure itself. Box girder has high structural efficiency which can minimize prestressing strength that needed to hold the bending moment that given and will be easier to be mainteneced.*

*The initial stage of planning is a data collection and study of literature, then proceed with the design of secondary and the primary structure. With the loads, cross sections and prestress force that are planned, then the structure will be analyzed and controlled. After the super-structure is in compliance with the structural design, then continued with sub-structure bridge, pillars, foundation and pile cap.*

*Results kenjeran bridge redesign are: high of box girder is 4.5 m, width of top plate is 16 m and width of bottom plate is 10 m. Total tendon required is 31 units 6-55. The column under the bridge have 10 m x 3 m x 5,175 m dimension and pile required is 32 pile with 30 m depth.*

***Keywords: prestressed concrete, box girder, arch bridges horizontal, THP Kenjeran***

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berjudul “Modifikasi Perencanaan Jembatan THP Kenjeran Menggunakan Struktur *Concrete Box Girder* Pratekan” dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu penulis dalam pembuatan tugas akhir ini, mulai dari rencana, proses, hingga tahap penyusunan. Terutama untuk:

1. Keluarga atas segala dukungan, doa, dan kesabaran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Bapak Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, ilmu dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dwi Prasetya, S.T., M.T., M.Sc. yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Dosen pengajar dan karyawan di Teknik Sipil ITS yang telah memberikan banyak ilmu teknik sipil untuk memenuhi kebutuhan lulusan yang berkualitas.
5. Keluarga angkatan 2012 dan teman-teman yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Beasiswa BIDIKMISI yang telah membantu dalam hal materiil.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberi dukungan untuk penulis selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih mempunyai banyak kekurangan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dalam perbaikan tugas akhir ini. Semoga tugas

akhir ini bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman judul .....	i
Lembar pengesahan .....	v
Abstrak .....	vii
Kata Pengantar .....	xi
Daftar Isi .....	xiii
Daftar Gambar .....	xvi
Daftar Tabel .....	xviii
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.2.1 Umum .....	2
1.2.2 Khusus .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.3.1 Umum .....	3
1.3.2 Khusus .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat .....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	 5
2.1 Umum .....	5
2.2 Beton Bertulang .....	5
2.2.1 Definisi Beton Pratekan .....	5
2.2.2 Keuntungan Beton Pratekan .....	6
2.3 Konsep Dasar Beton Pratekan .....	7
2.4 Metode Pratekan .....	8
2.5 Tahap-tahap Pembebanan Beton Pratekan .....	9
2.6 Pemilihan Tipe Jembatan .....	12
2.7 Precast Segmental Box Girder .....	12
2.8 Jembatan Concrete Box Girder dengan Lengkung Horisontal .....	14
2.9 Metode Konstruksi Perancah .....	16
2.10 Perencanaan Pondasi .....	17

2.11	Pondasi Tiang Pancang .....	17
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		
3.1	Pengumpulan Data .....	21
3.1.1	Data-data Teknis Jembatan .....	21
3.1.2	Data Bahan .....	21
3.1.3	Tegangan Ijin Bahan .....	22
3.2	Preliminary Design .....	23
3.3	Analisa Beban-beban yang Bekerja .....	24
3.4	Perhitungan Gaya Prategang Awal .....	27
3.5	Pemilihan Tendon .....	28
3.6	Kehilangan Gaya Pratekan .....	29
3.7	Momen Retak .....	34
3.8	Momen Nominal .....	35
3.9	Momen Lentur .....	36
3.10	Kontrol Geser .....	37
3.11	Torsi .....	39
3.12	Lendutan .....	39
3.13	Preliminari Desain Bangunan Bawah .....	40
3.14	Analisa Beban Gempa .....	40
3.15	Kolom Jembatan .....	46
3.16	Pondasi .....	47
3.16.1	Daya dukung tiang pondasi .....	47
3.16.2	Kekuatan material tiang pancang .....	48
3.17	Metode Pelaksanaan .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		
4.1	Data Teknis Perencanaan .....	53
4.1.1	Data Jembatan .....	53
4.1.2	Data Bahan .....	53
4.1.3	Tegangan Ijin Bahan .....	54
4.2	Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan .....	55
4.2.1	Dimensi Pelat Rencana .....	55
4.2.2	Perencanaan Tulangan Pelat .....	56
4.3	Perencanaan Sandaran Jembatan .....	60

4.3.1	Perencanaan Pipa Sandaran .....	60
4.3.2	Perencanaan Tiang Sandaran .....	62
4.4	Perencanaan Gelagar Pratekan .....	64
4.4.1	Preliminari Desain Penampang Girder .....	64
4.3.2	Analisa Pembebanan .....	66
4.4.2	Perhitungan Momen .....	68
4.4.3	Perencanaan Tegangan Awal (Preliminary) .....	69
4.4.4	Perhitungan Kebutuhan Tendon .....	72
4.4.5	Pemilihan Tipe Angkur .....	72
4.4.6	Permodelan pada Program SAP2000 .....	73
4.4.7	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang .....	86
4.4.8	Kontrol Tegangan Setelah Koreksi Jumlah Tendon dan Kehilangan Gaya Prategang .....	94
4.4.9	Perencanaan Penulangan Lentur Box Girder .....	97
4.4.10	Perencanaan Geser .....	99
4.4.11	Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur .....	103
4.5	Perencanaan Bangunan Bawah .....	106
4.5.1	Analisa Kondisi Tanah .....	106
4.5.2	Analisa Beban Gempa .....	106
4.5.3	Kolom Jembatan .....	109
4.5.4	Perencanaan Kebutuhan Pondasi .....	112
4.5.5	Perencanaan Pile Cap .....	129
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		137
5.1	Kesimpulan .....	137
5.2	Saran .....	139
DAFTAR PUSTAKA .....		141
LAMPIRAN .....		143

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Lokasi jembatan yang ditinjau .....	4
Gambar 3.2. Tipe segmen box girder.....	13
Gambar 3.3. Penampang melintang <i>multi-cell box girder</i> .....	13
Gambar 3.4. Penampang melintang <i>single-cell box girder</i> .....	14
Gambar 3.1. Diagram alir penyelesaian tugas akhir .....	19
Gambar 3.2. Diagram alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)...	20
Gambar 3.3. Preliminary desain penampang .....	24
Gambar 3.4. Susunan berat as pada beban truk “T” .....	26
Gambar 3.5. Konfigurasi tendon pada tengah bentang .....	29
Gambar 3.6. Diagram skematik momen retak .....	35
Gambar 3.7. Tegangan ijin lentur akibat gaya pratekan dan beban yang bekerja.....	37
Gambar 3.8. Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) .....	41
Gambar 3.9. Peta respon spectra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.....	41
Gambar 3.10. Peta respon spectra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun .....	42
Gambar 3.11. Bentuk tipikal respons spectra di permukaan tanah .....	43
Gambar 3.12. <i>Partly-embedded pile &amp; equivalent fixed base pile or column</i> .....	49
Gambar 4.1. Kontrol geser ponds pelat .....	58
Gambar 4.2. Dimensi tiang sandaran.....	62
Gambar 4.3. Desain penampang lapangan.....	65
Gambar 4.4. Desain penampang tumpuan .....	66
Gambar 4.5. Diagram momen.....	69
Gambar 4.6. Dimensi angkur hidup.....	73
Gambar 4.7. Tegangan memanjang kiri 29 tendon.....	76
Gambar 4.8. Tegangan memanjang tengah 29 tendon.....	76
Gambar 4.9. Tegangan memanjang kanan 29 tendon.....	77
Gambar 4.10. Tegangan memanjang kiri 31 tendon .....	96



Gambar 4.11. Tegangan memanjang tengah 31 tendon .....	96
Gambar 4.12. Tegangan memanjang kanan 31 tendon .....	97
Gambar 4.13. Geser ultimit box girder .....	101
Gambar 4.14. Respon spectrum rencana.....	109
Gambar 4.15. Tulangan pilar rencana menggunakan SPCol ....	111
Gambar 4.16. Data Tanah BM-1 .....	113
Gambar 4.17. Data Tanah BM-2.....	114
Gambar 4.18. Data Tanah BM-3.....	115
Gambar 4.19. Letak jepit tiang pondasi .....	118
Gambar 4.20. Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-1 .....	123
Gambar 4.21. Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-2 .....	124
Gambar 4.22. Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-3 .....	125
Gambar 4.23. Denah tiang pondasi.....	127
Gambar 4.24. Denah pile cap.....	129
Gambar 4.25. Critical section .....	130
Gambar 4.26. Critical punching surface .....	131
Gambar 4.27. Critical punching pile.....	133
Gambar 4.28. Bagian kritis untuk lentur X.....	133
Gambar 4.29. Bagian kritis untuk lentur Y .....	135

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel hubungan antara bentang jembatan dan tipe jembatan .....	12
Tabel 2.2. Hubungan jenis pondasi terhadap kedalaman tanah keras.....	17
Tabel 3.1. Ketentuan tebal <i>top flange</i> minimum profil box .....	23
Tabel 3.2. Faktor beban akibat gaya sentrifugal.....	26
Tabel 3.3. Spesifikasi Strand Berdasarkan ASTM A-416.....	28
Tabel 3.4. Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon pasca tarik .....	30
Tabel 3.5. Nilai koefisien susut (Ksh) untuk komponen struktur pasca tarik.....	32
Tabel 3.6. Nilai-nilai C .....	33
Tabel 3.7. Nilai-nilai J dan Kre .....	34
Tabel 3.8. Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ).....	42
Tabel 3.9. Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) .....	43
Tabel 3.10. Zona Gempa .....	45
Tabel 3.11. Faktor modifikasi respon( $R$ ) untuk bangunan bawah .....	45
Tabel 3.12. Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk hubungan antar elemen struktur` .....	46
Tabel 4.1. Perhitungan momen arah Z.....	69
Tabel 4.2. Rencana tegangan awal .....	71
Tabel 4.3. Tegangan 29 tendon hasil analisa SAP.....	74
Tabel 4.4. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (1) .....	78
Tabel 4.5. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (2) .....	79
Tabel 4.6. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (3) .....	80
Tabel 4.7. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (4) .....	81
Tabel 4.8. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (5) .....	82
Tabel 4.9. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (6) .....	83
Tabel 4.10. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (7).....	84
Tabel 4.11. Eksentrisitas tendon terhadap CGC (8).....	85
Tabel 4.12. Kehilangan gaya pretegang akibat slip angkur .....	86

Tabel 4.13.	Kehilangan akibat perpendekan elastis beton .....	87
Tabel 4.14.	Panjang tendon, fokus arah vertikal dan fokus arah horisontal .....	88
Tabel 4.15.	Kehilangan prategang akibat gesekan (1) .....	88
Tabel 4.16.	Kehilangan prategang akibat gesekan (2) .....	89
Tabel 4.17.	Kehilangan prategang akibat gesekan (3) .....	89
Tabel 4.18.	Kehilangan prategang akibat gesekan (4) .....	89
Tabel 4.19.	Kehilangan prategang akibat gesekan (5) .....	90
Tabel 4.20.	Total kehilangan gaya prategang .....	92
Tabel 4.21.	Tegangan setelah koreksi jumlah tendon dan kehilangan prategang .....	93
Tabel 4.22.	Penulangan lentur box girder arah memanjang.....	97
Tabel 4.23.	Penulangan lentur box girder arah melintang .....	98
Tabel 4.24.	Geser ultimit box girder .....	99
Tabel 4.25.	Pembebanan dari bangunan atas .....	109
Tabel 4.26.	Nilai $\alpha$ dan $\beta$ untuk tiang pondasi .....	116
Tabel 4.27.	N-SPT BM-1 .....	119
Tabel 4.28.	N-SPT BM-2.....	120
Tabel 4.29.	N-SPT BM-3.....	121

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya dan rel kereta api. Dengan seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, jembatan mulai berkembang dari yang dahulu hanya dibuat dengan kayu sekarang berubah menggunakan material beton ataupun baja. Beton sudah banyak digunakan di dunia konstruksi, selain perawatan yang mudah, beton juga dapat menahan beban yang cukup besar. Sekarang, telah dikenal beton prategang, yakni beton yang terlebih dahulu diberi penekanan atau stressing sebelum diberikan beban luar. Teknik beton pratekan ini ternyata cukup efektif untuk memikul beban yang lebih besar dibanding dengan beton bertulang biasa dan dapat memperkecil berat sendiri dan ukuran dari penampangnya.

Jembatan THP (Taman Hiburan Pantai) Kenjeran dibangun sebagai pengembangan pariwisata perkotaan di kawasan pesisir yang juga menjadi ikon kota Surabaya serta untuk meningkatkan kualitas ekonomi penduduk pesisir setempat. Jembatan dipilih untuk menghubungkan tiga lokasi wisata Pantai Watu-Watu, Taman Hiburan Pantai Kenjeran (THP Kenjeran), dan Pantai Ria Kenjeran karena hingga saat ini sarana yang ada hanya berupa jaringan jalan yang melewati perkampungan nelayan dan akses melalui jalur laut yang menggunakan perahu nelayan yang areanya terbatas.

Jembatan THP Kenjeran dibangun dengan struktur girder precast pratekan yang terdiri dari beberapa bentang menengah dengan panjang masing-masing bentang sekitar 32 m dengan panjang total jembatan 504,52 m tidak termasuk *side span*. Dikarenakan bentang yang pendek, maka di setiap ujung-ujung bentang jembatan harus dibangun pilar-pilar penyangga balok

girder. Banyaknya pilar di sepanjang jembatan dapat mengganggu aktivitas pelayaran nelayan. Oleh karena itu direncanakan desain Jembatan THP Kenjeran yang baru menggunakan struktur jembatan bentang panjang menggunakan struktur box girder segmental pratekan dengan bentang utama sepanjang 91,1 m sehingga dapat menghilangkan pilar-pilar di sepanjang jembatan.

Profil box girder dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih ekonomis untuk bentang yang panjang dan besar, interiornya yang dapat digunakan sebagai jalur pipa gas atau air juga memiliki nilai estetika yang dapat menambah keindahan struktur itu sendiri. Box girder memiliki nilai efisiensi struktural tinggi yang dapat meminimalkan kekuatan prestressing yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang diberikan dan untuk pemeliharaannya pun juga mudah.

## **1.2 Perumusan Masalah**

### **1.2.1 Umum**

Permasalahan umum dari modifikasi perencanaan Jembatan THP Kenjeran adalah banyaknya jumlah pilar disepanjang jembatan yang mengganggu pelayaran nelayan.

### **1.2.2 Khusus**

Perumusan masalah yang ditinjau dari perencanaan Jembatan THP Kenjeran adalah:

1. Bagaimana melakukan *preliminary design* jembatan THP Kenjeran?
2. Bagaimana merencanakan struktur sekunder?
3. Bagaimana analisa struktur primer jembatan THP Kenjeran?
4. Bagaimana tegangan yang terjadi akibat dari perencanaan baja prategang?
5. Bagaimana merencanakan bangunan bawah jembatan tersebut?
6. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan jembatan THP Kenjeran ke dalam gambar?

### 1.3 Tujuan

#### 1.3.1 Umum

Tujuan umum dari mdifikasi perencanaan Jembatan THP Kenjeran adalah mengurangi jumlah pilar di sepanjang jembatan agar tidak mengganggu aktivitas pelayaran nelayan.

#### 1.3.2 Khusus

Tujuan dari modifikasi Jembatan THP Kenjeran adalah:

1. Mengetahui *preliminary design* struktur atas dan struktur bawah jembatan THP Kenjeran.
2. Mengetahui analisa struktur sekunder.
3. Mengetahui analisa struktur primer jembatan THP Kenjeran.
4. Menentukan tegangan yang terjadi akibat dari rencana baja prategang.
5. Mengetahui perencanaan bangunan bawah jembatan THP Kenjeran.
6. Mengetahui hasil perencanaan jembatan THP Kenjeran dalam gambar

### 1.4 Batasan Masalah

1. Tinjauan mencakup struktur atas dan struktur bawah jembatan (struktur primer dan struktur sekunder).
2. Tidak melakukan analisa biaya dan peninjauan waktu pelaksanaan.
3. Tidak merencanakan *side span bridge*
4. Tidak meninjau kestabilan profil pantai dan *scouring*.
5. Jembatan yang ditinjau hanya pada jembatan lengkung dengan panjang 91,1 m lihat **Gambar 1.1**.



**Gambar 1.1.** Lokasi jembatan yang ditinjau

### 1.5 Manfaat

Sebagai alternatif perencanaan jembatan THP Kenjeran sehingga dapat mengurangi jumlah pilar yang dibangun di sepanjang jembatan agar tidak mengganggu aktivitas pelayaran nelayan.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada modifikasi perencanaan jembatan THP Kenjeran ini menggunakan beton pratekan *simple beam* pada struktur *box girder*, sedangkan untuk pilar, abutmen dan struktur sekunder menggunakan struktur beton bertulang non pratekan.

#### **2.2 Beton Bertulang**

Perkembangan bahan-bahan struktural diuraikan menjadi tiga lajur yaitu bahan-bahan yang tahan terhadap tekanan, bahan-bahan yang tahan terhadap tarikan, dan pada perkembangan terakhir yaitu bahan-bahan yang tahan terhadap tekanan dan tarikan ketika menerima beban lentur (Lin, 2000). Beton merupakan material yang kuat terhadap tekanan tetapi lemah terhadap tarikan, dimana kuat tarik beton besarnya bervariasi dari 8 sampai 14% dari kuat tekannya (Nawy, 2001). Sementara baja merupakan bahan yang kuat terhadap tarikan. Kedua bahan ini kemudian dikombinasikan menjadi struktur beton bertulang. Beton bertulang mengkombinasikan beton dengan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai keinginannya. Namun dalam perkembangannya terdapat ketidakcocokan dalam regangan-regangan baja dan beton yang menimbulkan retak-retak awal pada beton bertulang, selain itu pada beton bertulang seluruh penampang beton tidak bekerja aktif.

#### **2.3 Definisi Beton Pratekan**

Pada awal abad ke-18, dikembangkan suatu bahan struktural baru yang disebut beton pratekan. Beton pratekan adalah jenis beton yang mampu mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi secara “aktif”. Hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Baja adalah

bahan yang liat dan dibuat untuk bekerja dengan kekuatan tarik yang tinggi oleh prategang. Sedangkan beton adalah bahan yang getas dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberi tekanan, sementara kekuatan menahan tekanan tidak dikurangi.

Dibandingkan dengan struktur beton bertulang biasa, beton pratekan lebih baik dalam perilaku struktur, ketahanan dan dari segi ekonomisnya. Lendutan yang terjadi pada beton pratekan 60% lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang untuk beban yang sama. Selain itu retak pada beton bertulang lebih banyak namun dengan lebar retak yang kecil dan pada beton pratekan terjadi sebaliknya. Kelebihan beton pratekan juga terlibat pada peningkatan karakteristiknya terhadap beban layan yang menandakan bahwa material digunakan secara lebih efektif (Maroliya, 2012).

## **2.4 Keuntungan Beton Pratekan**

Ada beberapa keuntungan beton prategang dibandingkan dengan beton bertulang biasa, diantaranya (Hadipratomo,1988):

1. Karena pada beton prategang dipakai bahan baja dan beton mutu tinggi maka jumlah bahan yang dipakai lebih sedikit. Peningkatan mutu beton (2x) kali lipat hanya akan menghemat biaya 30%.
2. Pada beton prategang, seluruh penampang aktif menerima beban, sedangkan pada beton bertulang hanya penampang yang tidak retak.
3. Karena kedua hal diatas maka beton prategang lebih ringan, lebih langsing dan secara estetis lebih menarik. Berat yang lebih ringan ini penting pada balok bentang besar dan jembatan dimana beban mati sangat besar pengaruhnya.
4. Karena tidak terjadi retak pada beton prategang, maka baja lebih terlindung terhadap korosi, dan sangat cocok untuk struktur yang berisi zat cair dan reaktor atom.

5. Lendutan efektif akibat beban jangka panjang dapat terkontrol baik pada prategang penuh maupun sebagian,
6. Akibat kemiringan tendon di dekat perletakan, ketahanan terhadap beban lebih baik dan prategangan akan mengurangi tarikan diagonal. Jadi sengkang yang dipakai berkurang.
7. Bila pada pekerjaan awal pada masa inisialisasi, struktur dapat bertahan terhadap beban yang paling bahaya, maka struktur juga akan cukup aman pada beban kerja.

## **2.5 Konsep Dasar Beton Pratekan**

Terdapat tiga konsep dasar yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar beton pratekan yang penting untuk dimengerti seorang perancang untuk mendapatkan desain beton prategang dengan sebaik dan seefisien mungkin. Konsep-konsep tersebut adalah (Lin, 1981):

### **a. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.**

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan pemikiran dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu-tinggi yang ditarik) diolah sedemikian rupa sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik, dari konsep ini lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

### **b. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton**

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahanan untuk melawan momen eksternal. Konsep ini mendasari

metode perancangan kuat batas dan juga dipakai pada keadaan elastis.

**c. Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban**

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok, dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit.

## **2.6 Metode Pratekan**

Untuk memberikan tekanan pada beton pratekan dapat dilakukan sebelum atau setelah beton dicetak/dicor. Kedua kondisi tersebut membagi sistem pratekan menjadi *Pretension* (pratarik) dan *Post-tension* (pasca tarik).

**a. Pratarik**

Pada sistem pratarik, tendon ditarik sebelum beton dicor. Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan melingkupi tendon yang sudah ditarik tersebut. Tendon-tendon tersebut pada awalnya diangkurkan pada abutmen untuk sementara dan saat beton sudah mengeras dan mencapai kekuatan yang disyaratkan maka tendon dipotong dan angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkontraksi, beton akan tertekan.

Keuntungan pratarik dibandingkan metode *prestressing* lainnya adalah (Hadipratomo, 1988):

- Daya lekat yang bagus dan kuat terjadi antara baja tegangan dan beton pada seluruh panjangnya.
- Supervisi yang memuaskan dapat dikerjakan, sebab biasanya pretensioning dikerjakan di pabrik.

### **b. Pasca tarik**

Sistem pascatarik adalah suatu sistem prategang dimana kabel ditarik setelah beton mengeras. Beton sebelumnya dicor di sekeliling selongsong yang telah disediakan. Posisi selongsong biasanya diatur sesuai dengan bidang momen dari struktur. Baja tendon tetap berada dalam selongsong selama pengecoran dan tendon bisa ditarik disatu sisi dan sisi yang lain diangkur. Atau tendon ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan. Beton menjadi tertekan setelah pengangkuran. Untuk sistem pasca tarik saat ini banyak digunakan elemen beton pracetak yang dirancang khusus dengan lubang-lubang tendon yang telah tersedia.

Kelebihan dari sistem pasca tarik adalah posisi tendonnya dapat diatur mengikuti bidang momennya sedangkan pada sistem pratarik hanya terbatas pada penggunaan kawat lurus yang ditarik diantara dua dinding penahan. Selain itu metode ini lebih cepat dalam pengerjaannya karena menggunakan beton pracetak sehingga tidak perlu setting time beton untuk mengeras seperti halnya pada metode pratarik.

Namun dalam penggunaan sistem pasca tarik, jumlah tendon dan sistem penarikannya sangat berpengaruh terutama kepada kehilangan gaya prategangnya. Presentase kehilangan terbesar terjadi pada tendon yang pertama kali ditegangkan. Penggunaan tendon yang terlalu banyak akan menambah presentase kehilangan gaya prategang dan tidak efisien. Dengan kata lain, diameter tendon yang lebih besar dan jumlah tendon yang lebih sedikit akan lebih efisien dibandingkan diameter kecil tetapi jumlah tendonnya banyak. Pemilihan jumlah tendon dan cara penarikannya harus diperhatikan agar kehilangan gaya prategang terjadi seminimum mungkin (Sudarmono, 2004).

## **2.7 Tahap-tahap Pembebanan Beton Pratekan**

Pada struktur beton pratekan terdapat tahap-tahap pembebanan dimana sebuah komponen struktur dibebani (Lin, 1981). Tahap-tahap tersebut adalah:

### **a. Tahap Awal**

Merupakan tahap dimana struktur diberi gaya pratekan tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini kemudian dibagi menjadi beberapa tahap selanjutnya, beberapa diantaranya tidak penting dan dapat diabaikan pada desain-desain tertentu, yaitu:

- a. Sebelum diberi gaya prategang  
Sebelum diberi gaya prategang beton cukup lemah dalam memikul beban, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada perletakan.
- b. Pada saat diberi gaya prategang  
Ini adalah merupakan percobaan yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali, tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon terjadi saat penarikan tendon.
- c. Pada saat peralihan gaya prategang  
Untuk komponen pratarik, peralihan gaya prategang sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen struktur pasca tarik, peralihan seringkali secara bertahap, gaya prategan pada tendon-tendon dialihkan ke beton satu per satu. Pada tahap ini, tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendirinya.

#### **b. Tahap Antara**

Tahap antara adalah tahapan selama pengangkatan dan pengangkutan. Hal ini hanya terjadi pada komponen struktur pracetak bila diangkut ke lapangan dan dipasang pada tempatnya. Hal ini penting sekali untuk menjamin bahwa komponen struktur telah ditumpu dan diangkat dengan semestinya. Tidak hanya saat penempatan komponen itu sendiri, tetapi juga saat penambahan beban mati seperti lantai, keadaan tumpuan dan pembebanan harus diperhatikan.

#### **c. Tahap Akhir**

Tahap akhir merupakan tahapan beban kerja yang sesungguhnya telah bekerja pada struktur. Beban yang harus dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

- a. Beban yang bekerja tetap

Lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur prategang akibat beban tetap yang sesungguhnya seringkali merupakan faktor penentu dalam desain, karena pengaruh dari rangkai akibat lentur akan memperbesar nilainya. Sehingga seringkali dikehendaki membatasi besar lendutan akibat beban tetap.

b. Beban kerja

Untuk mendesain akibat beban kerja haruslah ada pemeriksaan terhadap tegangan dan regangan yang berlebihan

c. Beban retak

Retak pada komponen beton prategang berarti perubahan yang mendadak pada tegangan rekat dan tegangan geser. Hal ini seringkali merupakan ukuran bagi kekuatan lelah.

d. Beban batas

Struktur yang didesain berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak selalu mempunyai angka keamanan yang cukup untuk kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa sebuah struktur memiliki kapasitas minimum memikul beban yang lebih besar, maka perlu ditentukan kekuatan batasnya. Pembebanan batas didasarkan pada peraturan RSNI T-02 2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan meliputi:

- Berat sendiri adalah berat dari elemen-elemen struktural pada jembatan
- Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural
- Beban lalu lintas pada jembatan terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T".
- Beban angin dihitung berdasarkan kecepatan angin rencana ( $V_w$ ) dan koefisien seretnya ( $C_w$ ).
- Gaya rem adalah pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas yang harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan.

## 2.8 Pemilihan Tipe Jembatan

Tipe jembatan bisa ditentukan berdasarkan bentang dari jembatan yang akan dibangun, berikut adalah tabel yang menghubungkan antara bentang jembatan dan tipe yang cocok untuk digunakan.

**Tabel 2.1.** Tabel hubungan antara bentang jembatan dan tipe jembatan

Span	Bridge Types
0- 150 ft	I-type pretensioned girder
100- 300 ft	Cast-in-place post-tensioned box girder
100- 300 ft	Precast balanced cantilever segmental, constant depth
250- 600 ft	Precast balanced cantilever segmental, variable depth
200-1000 ft	Cast-in-place cantilever segmental
800-1500 ft	Cable-stay with balanced cantilever segmental

\*1 ft = 0.3048 m.

(Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*)

## 2.9 Precast Segmental Box Girder

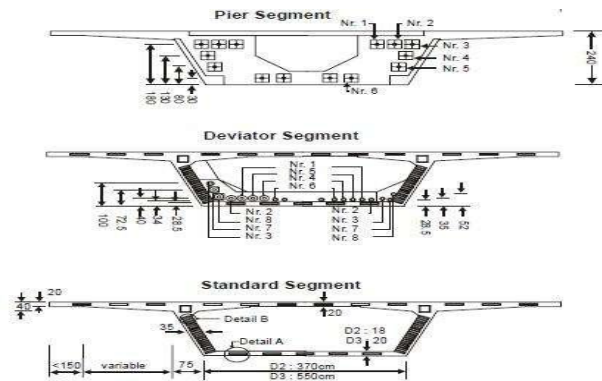
*Precast segmental box girder* adalah salah satu perkembangan penting dalam teknik jembatan yang tergolong baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan segmental *box girder* terdiri dari elemen-elemen pracetak yang diprategkan bersama-sama oleh tendon eksternal (Rombach, 2002).

### a. Elemen structural jembatan segmental box girder

Jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktur bentang tunggal untuk menghindari adanya sambungan kabel *post-tension*. Sehubungan dengan adanya eksternal *post-tension* maka diperlukan tiga macam segmen (Gambar 2.1), yang berbeda diantaranya (Rombach, 2002):

- *Pier Segment* : Bagian ini terletak tepat diatas abutment.
- *Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- *Standard segment* : Dimensi standard box girder yang digunakan.

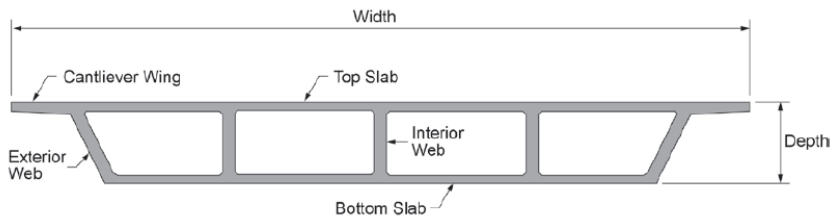




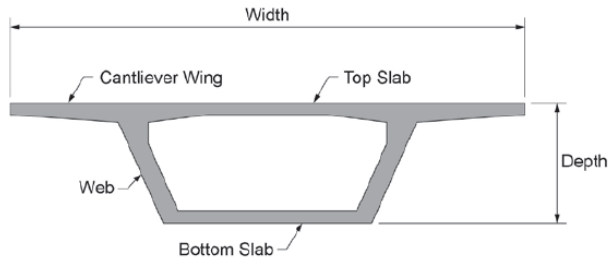
**Gambar 2.1.** Tipe segmen *box girder*  
(Sumber: jurnal Prof. Dr-Ing. G. Rombach, 2002)

**b. Penampang Melintang** (Post-Tensioned Box Girder Design Manual-2015)

Penampang melintang struktur atas dari *box girder* pratekan biasanya bertipe multi-cell (**Gambar 2.2**) atau single-cell (**Gambar 2.3**). Komponen dasar dari penampang melintang antara lain:



**Gambar 2.2.** Penampang melintang *multi-cell box girder*  
(Sumber: *Post-Tensioned Box Girder Design Manual-2015*  
Figure 1.3)



**Gambar 2.3.** Penampang melintang *single-cell box girder*  
(Sumber: *Post-Tensioned Box Girder Design Manual-2015*  
*Figure 1.4*)

- *Top slab* – seluruh lebar dek beton, termasuk kantilever.
- *Cantilever wings*
- *Webs*
- *Bottom slab*

Penampang melintang *multi-cell box girder* dapat digunakan untuk berbagai macam lebar jembatan dengan bervariasi jarak antara atau tebal badan. Lebar jembatan untuk *single-cell box girder* biasanya digunakan untuk rentang 25 ft hingga 60 ft meskipun terdapat jembatan *single-cell box girder* selebar 80 ft.

## 2.10 Jembatan *Concrete Box Girder* dengan Lengkung Horisontal

Tingginya volume lalu lintas dan geometric lengkungan perkotaan menyebabkan banyaknya jembatan jalan raya modern dan struktur lalu lintas yang dibuat lengkung horizontal.

Concrete box-girder, khususnya beton prategang pasca tarik dapat digunakan untuk bentang yang panjang. Penampang melintang strukturnya tahan terhadap torsi. Ini penting karena lengkungan menyebabkan besarnya gaya torsi yang terjadi. Juga, karena beton dapat dengan mudah dicetak sesuai bentuk yang dibutuhkan sehingga ideal untuk konstruksi berlengkung. Karenanya concrete box girder pratekan menjadi tipe struktur yang sering dipilih.

Jembatan dengan jari-jari lengkungan lebih besar dari 1000 ft dapat dipertimbangkan sebagai lurus. Beberapa studi dilakukan dengan beberapa parameter diantaranya: lengkung, panjang bentang, lebar dek, rasio tinggi penampang dan panjang bentang dan konfigurasi pembebanan untuk *single* dan *multi cell* (Meyer,1970):

Untuk *single-cell box* (**Gambar 2.3**) dibuat beberapa tinjauan:

- a. Gelagar pada lengkung bagian dalam lebih kaku dibandingkan gelagar pada bagian luar lengkung dan akan menerima lebih banyak beban.
- b. Distribusi beban lebih besar pada lengkungan, perilaku ini bergantung pada bentang lebar *cell* dan rasio tinggi penampang dan panjang bentang.
- c. Gelagar pada bagian luar lengkung mempunyai momen yang lebih besar dikarenakan bentang yang lebih panjang.
- d. Kombinasi poin 1 dan 3 menghasilkan momen yang terdekat diantara kedua gelagar.
- e. Pengaruh dari pajang bentang pada distribusi beban hampir sama dengan gelagar lurus.
- f. Pengaruh rasio tinggi dan panjang bentang juga hampir sama.

Untuk *two-cell boxes*:

- a. Momen pada gelagar bagian tengah dan bagian dalam lengkung meningkat.
- b. Momen pada gelagar bagian luar lengkung berkurang sampai tingkat tertentu kemudian meningkat.
- c. Pengaruh bentang pada distribusi beban kecil.
- d. Lebar *cell* mempengaruhi efek kelengkungan.

Respon dari 3 dan 4 *cell box-girders* (**Gambar 2.2**) menunjukkan karakterisitik yang serupa dengan 1 dan 2 *cell boxes*:

- a. Gelagar dapat diberi momen yang proporsional dengan momen inersianya.
- b. Distribusi beban biasanya tidak baik untuk jembatan menerus.

Beberapa tegangan kritis harus dipertimbangkan dalam mendesain *curved concrete box-girder bridges*, diantaranya (Nutt, 2008):

- a. Tegangan aksial pada slab atas dan bawah dan badan penampang. Tegangan dihasilkan dari lentur vertical antara perletakan dan efek utama serta efek samping dari *longitudinal prestressing*.
- b. Tegangan geser pada badan. Tegangan ini dihasilkan dari lentur dan torsi dari superstruktur.
- c. Tegangan transversal pada penampang melintang. Tegangan ini dapat ditentukan dengan metode yang sama dengan jembatan lurus.
- d. Tegangan lentur dan geser di sekitar tendon prategang. Tegangan kompleks terjadi pada badan dari *curved concrete box-girder* dari beban lateral yang diakibatkan oleh lengkung tendon prategang.

## 2.11 Metode Konstruksi Perancah

Perancah (*scaffolding*) adalah bangunan peralatan (*platform*) yang dibuat untuk sementara dan digunakan sebagai penyangga tenaga kerja, material serta alat-alat pada pekerjaan konstruksi dan pemeliharaan (Menakertrans, 1980).

Material untuk perancah dapat dibuat menggunakan material alam maupun buatan pabrik. Pada tugas akhir ini digunakan perancah produk pabrikasi yang kemudian dirangkai di lokasi konstruksi. Komponen-komponen penyusunnya antara lain: rangka *main frame*, *diagonal bracing*, *jack*, *brace locking*, *joint pin*, *platform* dan *head*.

Untuk *precast box girder*, masing-masing segmen box girder disusun dan disangga oleh perancah dan kemudian di *stressing*. Setelah proses *stressing* selesai, perancah kemudian dapat di *uninstall*.

### 2.12 Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan sesuai kedalaman tanah keras seperti pada **Tabel 2.2.**

**Tabel 2.2.** Hubungan jenis pondasi terhadap kedalaman tanah keras

Kedalaman Tanah Keras (m)	Jenis Pondasi
0.00 - 3.00	Pondasi Langsung
3.00 - 10.00	Pondasi Sumuran
10.00 - 20.00	Pondasi Tiang pancang
> 20.00	Pondasi Tiang Pancang

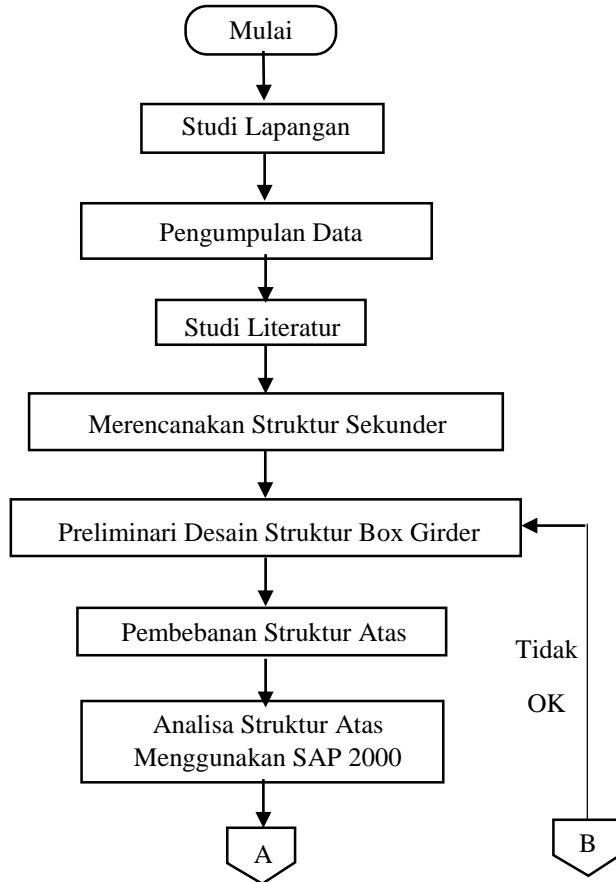
### 2.13 Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan/atau baja, yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam masa tanah. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang.

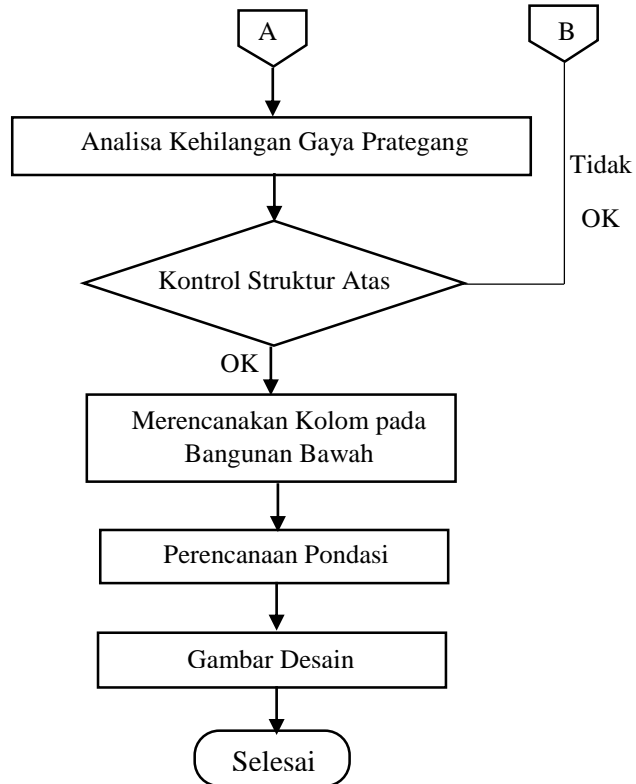
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### BAB III METODOLOGI

Sistematika metodologi pekerjaan Tugas Akhir dapat dilihat seperti diagram *flowchart* pada **Gambar 3.1** dan **3.2** di bawah:



**Gambar 3.1.** Diagram alir penyelesaian tugas akhir



**Gambar 3.2.** Diagram alir penyelesaian tugas akhir (lanjutan)

Penjelasan metodologi *flowchart* dalam Perencanaan Ulang Jembatan THP Kenjeran dengan Struktur Box Girder di atas sebagai berikut:



### 3.1 Pengumpulan Data

#### 3.1.1 Data-data Teknis Jembatan

Jembatan THP Kenjeran direncanakan ulang menggunakan struktur jembatan box girder. Adapun data-data yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 91,1 m
2. Jari-jari lengkung : 140 m
3. Lebar jembatan : 16 m
4. Lebar rencana jalan : 10 m
5. Lantai kendaraan : 2 lajur, 1 jalur ; beton pratekan
6. Lebar trotoar : 2 x 3 m
7. Gelagar utama : box girder beton pratekan

#### 3.1.2 Data Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam perencanaan ulang jembatan THP Kenjeran adalah sebagai berikut:

1. Beton
  - Kuat tekan beton untuk beton pratekan ( $f'c$ ) = 50 MPa
  - Kuat tekan beton untuk beton bertulang non pratekan ( $f'c$ ) = 30 MPa
2. Baja
  - Mutu baja yang digunakan pada beton pratekan adalah kabel jenis strand seven wires stress relieved (7 kawat untai) dengan diameter 15,24 mm grade 270 (ASTM A-416), luasan strand = 143,3 mm<sup>2</sup>.
  - Mutu baja yang digunakan penulangan struktur primer adalah baja mutu  $f_y$  400 MPa
  - Untuk penulangan struktur sekunder dipakai baja tulangan dengan mutu  $f_y$  240 MPa
  - Modulus elastisitas beton  $E_s$  = 200.000 MPa

### 3.1.3 Tegangan Ijin Bahan

#### 1. Beton

Beton Pratekan ( $f'_c$ ) = 50MPa

Pada saat transfer (tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya pratekan sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu) dimana penarikan pada umur menurut PBI 1971,  $f_{ci} = 95\% \times f'_c = 47,5 \text{ MPa}$ , sehingga tegangan pada serat terluar:

➤ Tekan:

$$f_{ct} = 0,6 f_{ci} = 0,6 \times 47,5 = 28,5 \text{ MPa}$$

➤ Tarik:

$$f_{ct} = 0,25 \sqrt{f'_c} = 0,25 \times \sqrt{50} = 1,77 \text{ MPa}$$

Pada saat service (tegangan beton pada tingkat beban kerja, setelah memperhitungkan semua kehilangan pratekan yang mungkin terjadi), sehingga tegangan pada serat terluar:

➤ Untuk tekan:

$$f_{ct} = 0,45 f_{ci} = 0,45 \times 47,5 = 21,375 \text{ MPa}$$

➤ Untuk tarik:

$$f_{ct} = 0,5 \sqrt{f'_c} = 0,5 \times \sqrt{50} = 3,53 \text{ MPa}$$

➤ Modulus Elastisitas ( $E_c$ ):

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{50} = 33234 \text{ MPa}$$

➤ Tegangan Retak ( $f_r$ ):

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c} = 0,7 \sqrt{50} = 4,95 \text{ MPa}$$

#### 2. Baja Pratarik

Tegangan tarik pada tendon pratekan adalah sebagai berikut:

- Modulus Elastisitas  $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$
- Tegangan putus kabel  $f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$
- Tegangan leleh kabel  $f_{py} = 0.9 \times 1860 = 1674 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik ijin kabel (*jacking*)  
 $= 0,94 \times 1674 = 1573,56 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik ijin kabel (setelah pengangkur)

$$= 0,70 \times 1860 = 1302 \text{ MPa}$$

### 3.2 Preliminary Design

a) Tafsiran tinggi box girder

➤ Area tumpuan

$$\frac{L}{16} \leq h \leq \frac{L}{20} \quad (3-1)$$

➤ Area tengah bentang

$$\frac{L}{30} \leq h \leq \frac{L}{50} \quad (3-2)$$

b) Ketebalan minimum *web box girder*

200 mm = jika selongsong tendon tidak berada pada *box*.

250 mm = jika terdapat selongsong tendon berukuran kecil yangdipasca tarik secara vertikal maupun longitudinal terjadi dibadan *box*.

300 mm = jika terdapat selongsong tendon (12 ½ in ) pada badan *box*.

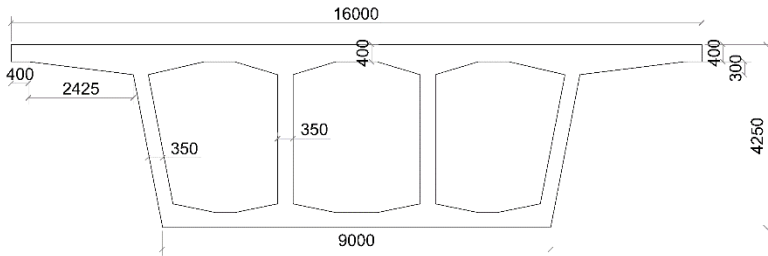
350 mm = jika terdapat angkur tendon (12 ½ in ) pada badan *box*.

c) Ketebalan minimum *top flange box girder* dapat ditentukan berdasarkan **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1.** Ketentuan tebal *top flange* minimum profil box

Bentang antar <i>web</i>	Tebal minimum <i>top flange</i>
Kurang dari 3 m	175 mm
Antara 3 – 4,5 m	200 mm
Antara 4,5 – 7,5 m	250 mm
Lebih dari 7,5 m	Digunakan <i>system rib</i> atau <i>hollow slab</i>

d) Ketebalan minimum *bottom flange box girder* = 125 mm



**Gambar 3.3.** Preliminary desain penampang

### 3.3 Analisa Beban-beban yang Bekerja

Berdasarkan peraturan pembebanan jembatan RSNI T-02-2005 beban-beban yang bekerja pada jembatan antara lain:

#### 1. Aksi dan beban tetap

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non-struktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang. Perencana jembatan harus menggunakan kebijaksanaan di dalam menentukan elemen-elemen tersebut. Aksi dan beban tetap meliputi:

##### a) Berat sendiri

Faktor beban berdasarkan materialnya dapat dilihat pada RSNI T-02-2005 pasal 5.2 tabel 2 dan tabel 3.

##### b) Beban mati tambahan/utilitas

Mengacu pada RSNI T-02-2005 pasal 5.3

##### c) Pengaruh penyusutan dan rangkai

Mengacu pada RSNI T-02-2005 pasal 5.4

##### d) Pengaruh prategang

Mengacu pada RSNI T-02-2005 pasal 5.4.1

#### 2. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

Sedangkan beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

a) Beban lajur “D”

Terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan Beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR) yang mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani ( $L$ ) sebagai berikut: (RSNI T-02-2005 pasal 6.3)

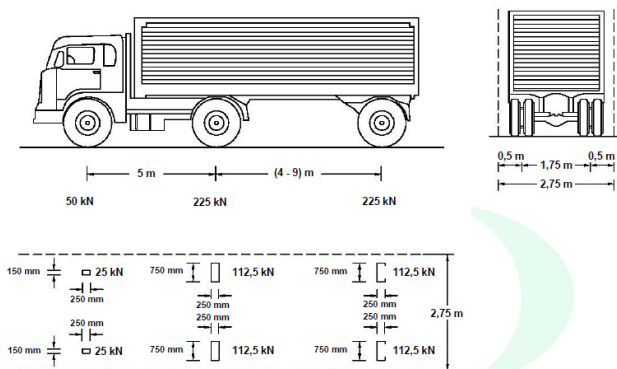
$$L \leq 30 \text{ m}, q = 9 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m}, q = 9 \times (0.5 + 15L) \text{ kPa}$$

Beban garis (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p = 49.0 \text{ kN/m}$

b) Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada **Gambar 3.3** dan perhitungan besar beban truk “T” didasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 6.4.



**Gambar 3.4.** Susunan dan berat as pada beban truk “T”  
(Sumber: RSNI T-02-2005 gambar 7)

### 3. Gaya Rem (RSNI T-02-2005 pasal 6.7)

Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizaontal pada jarak 100 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

### 4. Gaya Sentrifugal (RSNI T-02-2005 pasal 6.8)

Jembatan yang berada pada tikungan harus memperhitungkan bekerjanya suatu gaya horizontal radial yang dianggap bekerja pada tinggi 1,8 m di atas lantai kendaraan. Pengaruh gaya sentrifugal faktor C sebagai berikut:

$$T_{TR} = 0,79 \frac{V^2}{r} T_T$$

Keterangan:

$T_{TR}$  = gaya sentrifugal yang bekerja pada bagian jembatan

$T_T$  = pembebanan lalulintas total yang bekerja pada bagian yang sama

$V$  = kecepatan lalu lintas rencana (km/jam)

$R$  = jari-jari lengkung (m)

Faktor beban akibat gaya sentrifugal seperti diberikan pada tabel berikut:

**Tabel 3.2.** Faktor beban akibat gaya sentrifugal

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TR;}$	$K_{U;TR;}$
Transien	1,0	1,8

(Sumber: RSNI-T-02-2005 Tabel 15)

## 5. Aksi lingkungan

### a) Beban angin

Beban angin dihitung berdasarkan kecepatan angin rencana dan koefisien seretnya. Kecepatan angin ( $V_w$ ) dan koefisien seret ( $C_w$ ) ditentukan dalam RSNI T-02-2005 pada tabel 27 dan tabel 28.

Gaya nominal ultimat dan daya layan jembatan akibat angin dirumuskan seperti berikut:

$$TEW = 0.0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ (kN)} \quad (3-1)$$

Dimana:  $C_w$  = koefisien seret

$V_w$  = kecepatan angin rencana (m/s)

$A_b$  = luas koefisien bagian samping jembatan (m<sup>2</sup>)

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas, apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, maka beban akibat angin menjadi:

$$TEW = 0.0012 C_W (V_w)^2 A_b \text{ (kN)}$$

### b) Beban gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan factor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan:

$E_Q$  adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  adalah koefisien respons gempa elastis

$R_d$  adalah factor modifikasi respons

$W_t$  adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

## 3.4 Perhitungan Gaya Prategang Awal

Perhitungan gaya prategang awal berdasarkan peraturan SNI 2847-2013:

- Tegangan tekan

$$\sigma_{ti} = \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_t} + \frac{Mg}{W_t}$$

- Tegangan Tarik

$$\sigma_{ci} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{Mg}{W_t}$$

### 3.5 Pemilihan Tendon

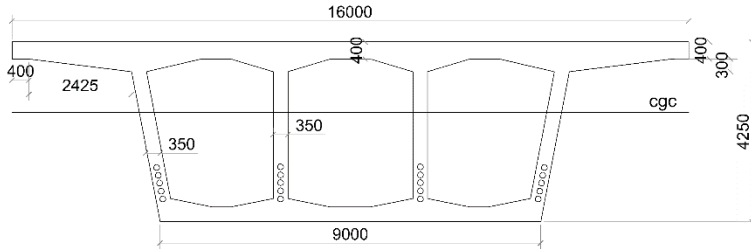
Untuk strand kawat atau wires yang digunakan pada profil adalah strand ASTM A-416 produksi Freyssinet Prestressing System grade 270. Dengan spesifikasi sebagai berikut (**Tabel 3.2**) dengan konfigurasi tendon seperti pada **Gambar 3.5.**:

**Tabel 3.3.** Spesifikasi Strand Berdasarkan ASTM A-416

Diameter mm (in.)	Min. Breaking Strength, kN (lbf)	Strand Steel Area mm <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	Weight Kg/1000m (lb/1000ft)
Grade 1725 (250)			
6.40 (0.250)	40.0 (9,000)	23.2 (0.036)	182 (122)
7.90 (0.313)	64.5 (14,500)	37.4 (0.058)	294 (197)
9.50 (0.375)	89.0 (20,000)	51.6 (0.080)	405 (272)
11.10 (0.438)	120.1 (27,000)	69.7 (0.108)	548 (367)
12.70 (0.500)	160.1 (36,000)	92.9 (0.144)	730 (490)
15.20 (0.600)	240.2 (54,000)	139.4 (0.216)	1,094 (737)
Grade 1860 (270)			
9.53 (0.375)	102.3 (23,000)	54.80 (0.085)	432 (290)
11.11 (0.438)	137.9 (31,000)	74.2 (0.115)	582 (390)
12.70 (0.500)	183.7 (41,300)	98.70 (0.153)	775 (520)
15.24 (0.600)	260.7 (58,600)	140.0 (0.217)	1,102 (740)

(Sumber: Freyssinet Prestressing System brochure)





**Gambar 3.5.** Konfigurasi tendon pada tengah bentang

### 3.6 Kehilangan Gaya Pratekan

Gaya prategang efektif (gaya prategang rencana) adalah gaya prategang awal pada baja dikurangi semua kehilangan gaya pratekan. Kehilangan gaya pratekan yang terjadi adalah:

#### 1. Kehilangan gaya prategang langsung

Adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan, yang terdiri dari

##### a. Perpendekan elastis beton (ES)

Perhitungannya kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton mengacu pada RSNI T-12-2004 pasal. 6.4.2 dengan rumus sebagai berikut:

$$ES = K_{es} \cdot E_s \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

dengan nilai  $f_{cir}$  sebagai berikut :

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_e \times e^2}{I} - \frac{M_G \times e}{I}$$

Dimana:

$K_{es}$  = 1 untuk komponen struktur pratarik

= 0,5 untuk struktur pasca tarik bila kabel-kabel secara berturut-turut ditarik dengan gaya yang sama

$E_{ci}$  = modulus elastisitas beton saat pengangkutan

$E_s$  = Modulus elastisitas baja prategang

$f_{cir}$  = tegangan beton di daerah c.g.s akibat beban tetap (*dead load*)

$M_G$  = Momen akibat berat sendiri beton

- b. Kehilangan prategang akibat slip pengangkuran (ANC) (Lin, 1981)

$$ANC = \Delta f_s = \frac{\Delta a E_s}{L}$$

Dimana:

$\Delta a$  = deformasi pengangkuran

$E_s$  = 200000 MPa

- c. Kehilangan prategang akibat gesekan (*friction and wobble effect*) (Lin, 1981)

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -K \cdot L - \mu \cdot \alpha$$

Dimana:

$F_2$  = tegangan tarik satuan pada jarak L

$F_1$  = tegangan tarik satuan pada ujung pendongkrakan

K = Koefisien wobble (**Tabel 3.4**)

$\mu$  = koefisien kelengkungan (**Tabel 3.4**)

$\alpha$  = sudut kelengkungan 11

L = panjang sampai titik yang ditinjau

**Tabel 3.4.** Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon pasca tarik

Tipe Tendon	K tiap meter	$\mu$
Tendon pada selubung logam fleksibel:		
- Tendon kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
- Baja mutu tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
Tendon pada selubung logam kaku		
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0007	0,15 – 0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
- Tendon kawat dan strand dengan	0,001 – 0,0066	0,05 – 0,15

untaian 7 kawat		
Tendon yang diberi lapisan mestic	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15
- Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat		

## 2. Kehilangan gaya prategang tak langsung

Merupakan kehilangan yang terjadi karena bergantung pada fungsi waktu. Kehilangan ini tidak terjadi sesaat setelah pemberian gaya prategang. Kehilangan gaya prategang tak langsung meliputi:

### a. Akibat rangkai beton (CR)

Kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton dihitung dengan rumus sebagai berikut (Lin, 1981):

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana:

$K_{cr} = 1,6$  untuk struktur pasca tarik

$f_{cir}$  = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah diberi gaya prategang

$f_{cds}$  = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

### b. Akibat susut beton (*shrinkage*)

Perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut menurut buku beton prategang (Lin, 1981) adalah sebagai berikut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s (1 - 0,06 v/s)(100 - RH)$$

Dimana:

$K_{sh}$  = koefisien susut (**Tabel 3.5**)

$V$  = volume beton

$S$  = luas selimut yang berhubungan dengan udara

$RH$  = kelembaban udara

**Tabel 3.5.** Nilai koefisien susut ( $K_{sh}$ ) untuk komponen struktur pasca tarik

Jangka waktu setelah perawatan basah sampai penerapan prategang (hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
$K_{sh}$	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

c. Akibat relaksasi baja

Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja menurut buku beton prategang oleh (Lin,1981) dirumuskan sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)].C$$

Dimana:

$K_{re}$ ,  $J$ , dan  $C$  didapat dari **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7**

$SH$ ,  $CR$ , dan  $ES$  = kehilangan-kehilangan gaya prategang akibat susut, rangkak, dan perpendekan elastisitas beton

**Tabel 3.6.** Nilai-nilai C

fpi/fpu	Strand atau kawat stress-relieved	Batang stress-relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

**Tabel 3.7.** Nilai-nilai J dan Kre

<b>Tipe tendon</b>	<b>K<sub>re</sub></b>	<b>J</b>
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

### 3.7 Momen Retak

Momen retak ( $M_{cr}$ ) pada struktur beton pratekan dihitung berdasarkan teori elastis. Retak terjadi apabila serat beton terjauh mencapai *modulus of rupture* ( $f_r$ ) dengan nilai sebesar  $0,70\sqrt{f'_c}$

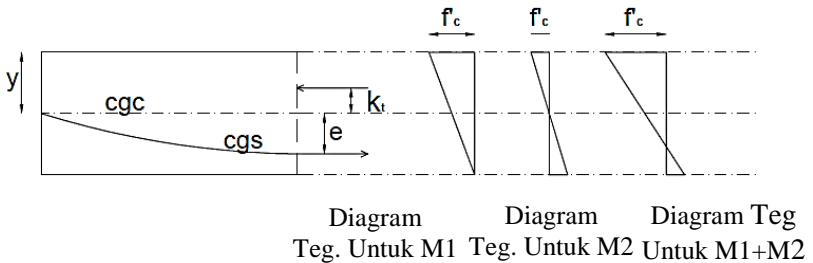
$$\frac{F}{A} + \frac{F.e}{W_b} - \frac{M}{W_b} = -f_r$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{A} \times \frac{I}{y}\right) + \left(\frac{F.e.y}{I} \times \frac{I}{y}\right) - \left(f_r \times \frac{I}{y}\right)$$

$$M_1 = F(e + Kt)$$

$$M_2 = f_r \cdot e \cdot y$$

$$M_{cr} = M_1 + M_2$$



**Gambar 3.6.** Diagram Skematik Momen Retak

(Sumber: Lin, 1981)

Dimana:

$F$  = gaya pratekan efektif setelah kehilangan

$I$  = inersia balok

$e$  = eksentrisitas dari garis netral beton (c.g.c) ke tendon baja (c.g.s)

$A$  = luas penampang balok

$y$  = garis netral balok

$f_r$  = modulus keruntuhan (*modulus of rupture*)

### 3.8 Momen Nominal

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana mampu atau tidak menahan momen ultimate yang terjadi. Nilai momen nominal bergantung pada desain penampang (menggunakan tulangan lunak terpasang atau tidak) dan pada ukuran penampang balok. Rumus perhitungan momen nominal adalah sebagai berikut:

$$T = A_{ps} \times f_{ps}$$

$$A_{ps} = b_w \times d \times \rho_p$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[ \rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right)$$

$$a = \frac{C}{0,85 f'_c \times b_w}$$

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Dimana:

$M_n$  = momen nominal penampang

$T$  = gaya tarik =  $A_{ps} \times f_{ps}$

$A_{ps}$  = luas tulangan pratekan dalam daerah tarik

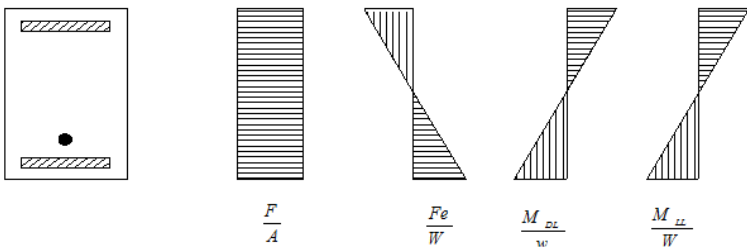
$f_{ps}$  = tegangan tulangan pratekan saat mencapai kuat nominal

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang

$a$  = tinggi balok tekan persegi ekuivalen

### 3.9 Momen Lentur

$$\sigma_{ct, b} = \frac{F}{A} \mp \frac{F \cdot e}{W_{t, b}} \pm \frac{M_{DL}}{W_{t, b}} \pm \frac{M_{LL}}{W_{t, b}} \leq \sigma_{ijin \text{ ct, b}}$$



**Gambar 3.7.** Tegangan Ijin Lentur Akibat Gaya Pratekan dan Beban yang Bekerja

Dimana:

$\sigma_{ct,}$  = tegangan lentur yang terjadi pada serat atas dan bawah

$F$  = gaya pratekan efektif setelah kehilangan

$A$  = luas penampang

$e$  = eksentrisitas dari garis netral beton pratekan (c.g.c) ke tendon baja (c.g.s)

$M_{DL}$  = momen akibat berat sendiri

$M_{LL}$  = momen akibat beban hidup

$\sigma_{ijin \text{ ct,}}$  = tegangan ijin sesuai dengan ketentuan



### 3.10 Kontrol Geser

Kekuatan geser rencana harus diambil sebesar  $\phi V_n$  dimana kuat geser batas  $V_n$  diatur dalam RSNI T-12 2004 pada persamaan (6.8-10) dan  $\phi$  merupakan faktor kekuatan yang sesuai dengan sub-pasal 4.5.2. Agar syarat keamanan geser terpenuhi maka kuat geser rencana harus lebih besar dari gaya geser batas (ultimate),  $V_u$ , pada penampang yang ditinjau akibat kombinasi pembebanan luar yang paling berbahaya.

$$V_n = V_c + V_s$$

Dalam penentuan  $V_c$ , pengaruh tarik aksial akibat rangkai dan susut pada komponen struktur yang terkekang perlu diperhitungkan.

$$V_c = \left( \sqrt{\frac{f'_c}{20}} + 5 \frac{V_u}{M_u} \cdot d \right) b_w \cdot d$$

Dan  $V_c$  harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Jika perhitungan geser dihitung secara rinci, maka  $V_c$  harus diambil dari nilai terkecil antara retak geser terlentur ( $V_{ci}$ ) atau retak geser badan ( $V_{cw}$ )

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}$$

Dimana:

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t} \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

Tetapi nilai  $V_{ci}$  tidak perlu diambil kurang daripada  $\frac{\sqrt{f'_c}}{7} b_w d$ . dan nilai-nilai  $M_{max}$  dan  $V_i$  harus dihitung dari kombinasi beban yang menimbulkan momen maksimum pada penampang yang ditinjau.

$$V_{cw} = 0.3 (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) + b_w \cdot d + V_p$$

Keterangan:

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_u$  = kuat geser ultimate dari kombinasi beban yang ada

- $V_{ci}$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat momen dan geser  
 $V_{cw}$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang.  
 $V_d$  = gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor  
 $V_i$  = gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan  $M_{max}$ .  
 $V_p$  = komponen vertikal gaya pratekan efektif pada penampang  
 $I$  = Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor yang bekerja  
 $y_t$  = jarak tepi atas balok ke garis netral  
 $b_w$  = lebar badan / garis tengah penampang  
 $d$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang  
 $M_{cr}$  = momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar  
 $M_{max}$  = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar  
 $f_d$  = tegangan akibat beban mati tak terfaktor pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar  
 $f_{pc}$  = tegangan tekan beton (setelah memperhitungkan semua kehilangan gaya pratekan) pada titik berat penampang yang menahan beban luar atau pertemuan antara badan dan flens jika titik berat terletak di dalam flens  
 $f_{pe}$  = tegangan tekan pada beton akibat gaya pratekan efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan gaya pratekan) pada serat terluar

penampang dimana tegangan tarik terjadi akibat beban luar

### 3.11 Torsi

Pada jembatan dengan lengkung horizontal terdapat bagian superelevasi pada tikungannya yang dapat menyebabkan terjadinya torsi. Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentrisitas.

Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen terfaktor  $T_u$  kurang dari:

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_g^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f'c}}}$$

Dimana:

$A_g$  = luas beton (mm<sup>2</sup>)

$p_{cp}$  = keliling luar penampang beton (mm)

$f_{pc}$  = kekuatan tekan beton setelah semua kehilangan prategang terjadi (MPa)

Jika torsi melebihi syarat diatas, maka desain penampang harus berdasarkan pada:

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

$T_u$  = momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)

$T_n$  = kekuatan momen torsi nominal (N-mm)

$\theta$  = 37,5 derajat untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan longitudinal.

### 3.12 Lendutan

Ada 2 macam lendutan yang terjadi:

a. Lendutan ke atas (*camber*) akibat gaya prategang

$$\Delta = -\frac{WL^4}{185EI}$$

b. Lendutan ke bawah akibat beban merata dan beban terpusat

$$\Delta = -\frac{qL^4}{185EI} \times \frac{0,0098 PL^3}{EI}$$

Dimana : W = beban yang terdistribusi secara merata kearah atas

P = beban terpusat

q = beban terbagi rata

L = panjang bentang

Kontrol lendutan:

$$y = \frac{L}{800}$$

### 3.13 Preliminari Desain Bangunan Bawah

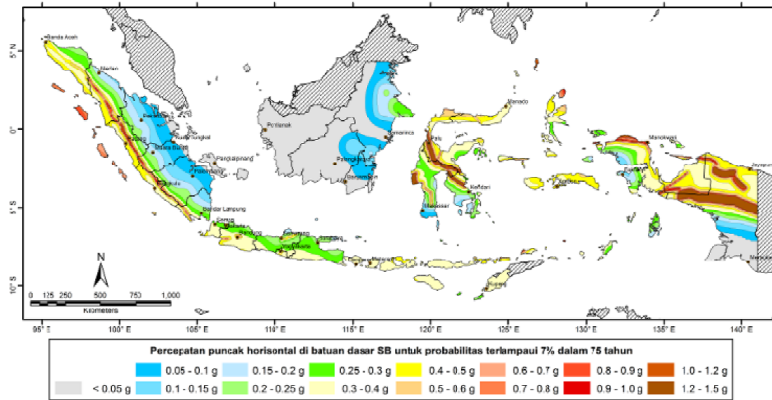
Perencanaan struktur bawah meliputi perencanaan kolom dan perencanaan pondasi. Untuk menganalisa bangunan bawah terlebih dahulu dilakukan analisa beban gempa dengan bantuan program SAP 2000.

### 3.14 Analisa Beban Gempa

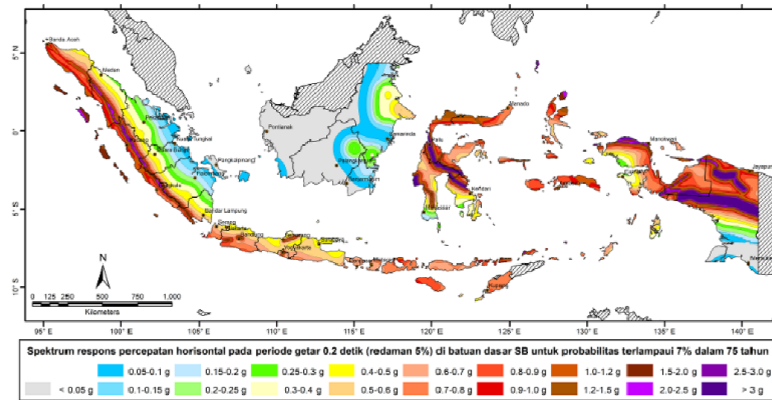
Analisa beban gempa dilakukan dengan analisa respon spektrum sebagai berikut:

#### i. Percepatan respon spektrum

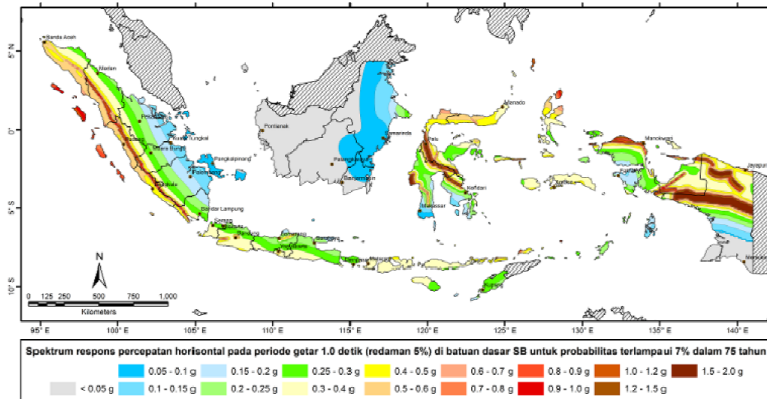
Penentuan wilayah gempa meliputi peta percepatan puncak batuan dasar (*PGA*) dan respons spectra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dapat dilihat pada **Gambar 3.8, 3.9 dan 3.10**.



**Gambar 3.8.** Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.  
(Sumber: RSNi 2833-2013 Gambar 4)



**Gambar 3.9.** Peta respon spectra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun  
(Sumber: RSNi 2833-2013 Gambar 5)



**Gambar 3.10.** Peta respon spectra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun  
(Sumber: RSNI 2833-2013 Gambar 6)

## ii. Faktor situs

Faktor amplifikasi meliputi factor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik ( $F_{PGA}$ ), factor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan factor amplifikasi periode 1 detik ( $F_v$ ) yang dapat ditentukan menggunakan **Tabel 3.8.** dan **3.9.**

**Tabel 3.8.** Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik  
( $F_{PGA}/F_a$ )

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA > 0,5$ $S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

### Keterangan:

$PGA$  adalah percepatan puncak batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 1 atau Gambar 4).

$S_s$  adalah parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek ( $T=0.2$  detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 2 atau Gambar 5).

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

(Sumber: RSNI 2833-2013 Tabel 3)

**Tabel 3.9.** Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )

Kelas situs	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

**Keterangan:**

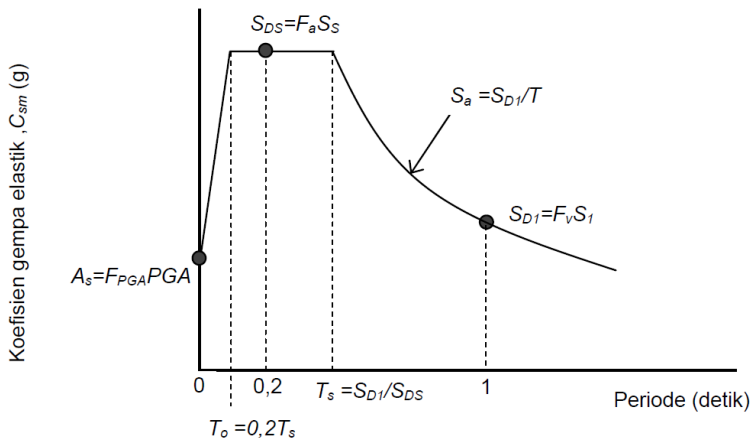
$S_I$  adalah parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 3 atau Gambar 6).

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik

(Sumber: RSNi 2833-2013 Tabel 4)

### iii. Respon spectrum rencana

Bentuk tipikal respons spectra di permukaan tanah dapat dilihat pada **Gambar 3.11** di bawah ini.



**Gambar 3.11.** Bentuk tipikal respons spectra di permukaan tanah  
(Sumber: RSNi 2833-2013 Gambar 7)

Respons spectra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 ( $PGA$ ,  $S_s$  dan  $S_1$ ), serta nilai faktor

amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_a$  dan  $F_v$  dengan perumusan sebagai berikut:

$$A_S = F_{PGA} \times PGA$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

#### iv. Koefisien respons gempa elastik

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respons gempa elastic ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan:

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , respons spectra percepatan,  $C_{sm}$  sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , koefisien respons gempa elastic  $C_{sm}$  didapatkan dari persamaan:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dimana:

$S_{DS}$ : parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$ : parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$$T_0 = 0,2T_s$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Penggunaan masing-masing persamaan dapat membentuk respon spectra di permukaan seperti diperlihatkan pada **Gambar 3.11**.



#### v. Kategori kinerja seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu dari empat zona gempa berdasarkan spectra percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) sesuai **Tabel 3.10**.

**Tabel 3.10.** Zona Gempa

Koefisien percepatan ( $S_{D1}$ )	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

*Catatan :*  $S_{D1} = F_v \times S_1$

$S_{D1}$  adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

$F_v$  adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )

$S_1$  adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (**Gambar 3**

(*Sumber: RSNi 2833-2013 Tabel 5*)

#### vi. Faktor modifikasi respons

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan factor modifikasi respons ( $R$ ) sesuai dengan **Tabel 3.11** dan **Tabel 3.12**.

**Tabel 3.11.** Faktor modifikasi respon( $R$ ) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

*Catatan:*

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

(*Sumber: RSNi 2833-2013 Tabel 6*)

**Tabel 3.12.** Faktor modifikasi respons ( $R$ ) untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

(Sumber: RSNI 2833-2013 Tabel 7)

### vii. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Dimana:

$E_Q$  : gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  : koefisien respons gempa elastic pada mortas getar ke-m

$R$  : factor modifikasi respons

$W_t$  : berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

### 3.15 Kolom Jembatan

Kolom direncanakan menggunakan tipe solid. Dalam perencanaan kolom perlu dipenuhi syarat *Balance Stiffness* untuk mengetahui kekakuan antara kolom yang bersebelahan yaitu minimal 0,5.

$$\frac{K_i}{K_j} \geq 0,5$$

Cek kelangsingan struktur:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22$$

Tulangan longitudinal : Sesuai RSNI T-12-2004 luas dari tulangan kolom tidak kurang dari

0,01 Ag dan tidak lebih dari 0,08 Ag.

### 3.16 Pondasi

Perencanaan pondasi tiang pancang dilakukan berdasarkan hasil SPT.

#### 3.16.1 Daya dukung tiang pondasi berdasarkan hasil SPT dengan metode Luciano Decourt (1996)

- Harga N koreksi  
Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut: (TERZAGHI & PECK)

$$N' = 15 + 0.5(N - 15)$$

Dimana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

N' = Harga N terkoreksi karena N dibawah muka air tanah

- Metode Luciano Decourt (1996):

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

Dimana :

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_P$  = Daya dukung pada dasar pondasi

$Q_S$  = Daya dukung akibat lekatan lateral

$$Q_P = \alpha q_p A_p = \alpha (N_p K) A_p$$

Dimana:

$\check{N}_p$  = Harga rata-rata SPT disekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi (B = diameter

$$\text{pondasi}) = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

K = Koefisien karakteristik tanah:

- 12 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung  
 20 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berlempung  
 25 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berpasir  
 40 t/m<sup>2</sup>, untuk pasir  
 $A_P$  = Luas penampang dasar tiang  
 $q_P$  = Tegangan diujung tiang  
 $\alpha$  = Base coefficient = 1,00 untuk driven pile  
 (tiang pancang)

$$Q_s = \beta q_s A_s = \beta (N_s / 3 + 1) A_s$$

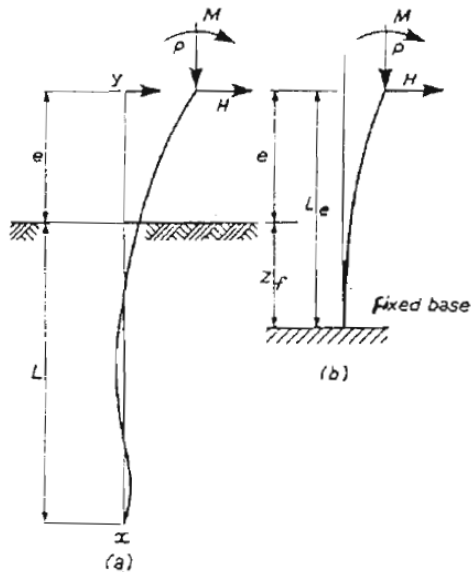
Dimana :

- $q_s$  = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m<sup>2</sup>  
 $N_s$  = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan :  $3 \leq N \leq 50$   
 $A_P$  = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)  
 $\beta$  = Shaft coefficient = 1,00 untuk driven pile

### 3.16.2 Kekuatan material tiang pancang

Letak titik jepit tanah terhadap tiang pondasi ( $Z_f$ ), dihitung dengan perumusan sebagai berikut (**Gambar 3.12**):

$Z_f = 1,8 T$  untuk normally consolidated clay dan granular soil, atau yang mempunyai kenaikan linier harga modulus.



**Gambar 3.12.** *Partly-embedded pile & equivalent fixed base pile or column*

Harga-harga  $T$  dicari dengan cara sebagai berikut:

Stiffness factor  $T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$  (dalam satuan panjang).

Dimana:

- Harga-harga  $n_h$  untuk soft normally-consolidated clays = 350 s/d 700  $\text{KN/m}^3$  dan soft organic silts = 150  $\text{KN/m}^3$ .
- $E$  = modulus elastisitas young tiang dan
- $I$  = momen inersia

Bila dikaitkan dengan  $L_e$  dan kekuatan struktur tiang, maka besarnya gaya  $P$  aksial maksimum ( $P_{\text{kritis}}$ ) terhadap “buckling” adalah:

Fixed & translating headed conditions :  $P_{cr} = \frac{\pi^2(EI)}{(e + Zf)^2}$

Gaya horisontal batas atau maksimum yang bekerja di ujung atas sebuah tiang:

$$M_{\max} = \sigma \times W$$

$$M_{\max} = H(e + 1.5d + 0.5f)$$

$$f = \frac{H}{9.Cu.d}$$

Dimana:

Hu = Ultimate lateral resistance

H = Lateral load

L = Kedalaman tiang pondasi dari muka tanah

d = Diameter tiang pondasi

e = Jarak antara lateral load (H) bekerja dengan muka tanah

Cu = Undrained cohesion

f = Posisi  $M_{\max}$  dari muka tanah

$\sigma$  = Tegangan beton

W = Modulus of section

Besarnya Hu yang bekerja pada sebuah tiang panjang untuk *Fixed-Headed Pile* dapat disederhanakan sebagai berikut (Tomlinson) :

$$Hu = \frac{2Mu}{(e + Zf)}$$

Defleksi horisontal yang terjadi akibat lateral loads dicari dengan persamaan:

*Deflection at head untuk fixed-headed pile:*

$$Y = \frac{H(e + Zf)^3}{12EI}$$

dengan:

E = Elastic modulus dari material tiang pondasi

I = Momen inersia dari cross-section tiang pondasi

### **3.17 Metode Pelaksanaan**

Metode pelaksanaan yang akan digunakan dalam modifikasi perencanaan jembatan THP Kenjeran ini adalah menggunakan sistem perancah sebagai penyangga sementara struktur *box girder*. Masing-masing segmen *box girder* diangkat menggunakan *mobile crane* yang kemudian ditumpukan pada perancah. Setelah semua *box* disusun, *box girder* kemudian di *stressing* secara keseluruhan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Teknis Perencanaan**

Jembatan yang akan dilakukan perencanaan ulang yaitu Jembatan THP Kenjeran Surabaya. Dalam perencanaan ulang ini digunakan tipe konstruksi pratekan statis tertentu dengan menggunakan box girder. Data-data jembatan dan bahan yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

##### **4.1.1 Data Jembatan**

Bentang Jembatan	: 91,1 m
Jari-jari lengkung	: 140 m
Lebar Jembatan	: 16 m
Lebar Jalan	: 10 m
Lebar Trotoar	: 2 x 3 m
Lantai Kendaraan	: 2 lajur 1 jalur
Pembatas Jalan	: Railing
Tipe Gelagar Pratekan	: Box girder pratekan statis tertentu
Panjang Segmen Girder	: 3 m

##### **4.1.2 Data Bahan**

Data data bahan yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan THP Kenjeran adalah sebagai berikut:

- **Beton**
  - Mutu beton untuk beton non-pratekan,  $f'c = 30$  MPa
  - Mutu beton gelagar pratekan,  $f'c = 55$  Mpa
- **Baja**
  - Mutu baja tulangan = 400 MPa
  - Tipe baja prategang = ASTM A416 Grade 270
  - Diameter = 15,2 mm
  - Ultimate strength,  $fpu = 1860$  MPa

### 4.1.3 Tegangan Ijin Bahan

#### 4.1.3.1 Beton Prategang

##### a. Saat Transfer

Transfer/jacking direncanakan dilakukan saat beton berumur 28 hari dengan kuat tekan beton ( $f'_{ci}$ ) adalah:

$$\begin{aligned} f'_{ci} &= 0,95 \times f'_c \\ &= 0,95 \times 55 \\ &= 52,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.2.2, tegangan ijin tekan untuk beton prategang pada saat transfer tidak boleh melampaui:

$$\begin{aligned} \sigma_{ci} &= 0,6 \times f'_{ci} \\ &= 0,6 \times 52,25 \\ &= 31,35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004 untuk struktur jembatan segmental pracetak, tidak ada tegangan tarik yang diijinkan pada setiap sambungan antar segmen, sehingga:

$$\sigma_{tr} = 0 \text{ MPa}$$

##### b. Saat Servis (Layan)

Pada saat layan, kuat tekan beton adalah  $f'_c = 50 \text{ MPa}$ . Dan berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.2.2, tegangan ijin tekan untuk beton prategang pada saat transfer tidak boleh melampaui:

$$\begin{aligned} \sigma_{ci} &= 0,45 \times f_{ci} \\ &= 0,45 \times 52,25 \\ &= 23,52125 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tidak ada tegangan tarik yang diijinkan pada gelagar pratekan saat servis/layan untuk menghindari terjadinya retak yang dapat menyebabkan korosi pada tendon pratekan, sehingga:

$$\sigma_{tr} = 0 \text{ MPa}$$

Modulus Elastisitas

$$E = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

$$E = 4700 \times \sqrt{55}$$

$$E = 34856,133 \text{ MPa}$$

#### 4.1.3.2 Baja Prategang

Modulus elastisitas (E)	= 200000 MPa
Tegangan putus kabel ( $f_{pu}$ )	= 1860 MPa
Tegangan leleh kabel ( $f_{py}$ )	= $0,9 \times f_{pu}$
	= $0,9 \times 1860$
	= 1674 MPa
Tegangan tarik izin kabel (saat jacking/transfer)	= $0,94 \times f_{py}$
	= $0,94 \times 1674$
	= 1573.56 MPa
Tegangan tarik izin kabel (setelah penjangkaran)	= $0,70 \times f_{pu}$
	= $0,70 \times 1860$
	= 1302 Mpa

## 4.2 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

### 4.2.1 Dimensi Pelat Rencana

Jarak antar web	= 3,3 m
Lebar jalur kendaraan	= 10 m
Lebar total jembatan	= 16 m
Mutu beton pelat	= 55 MPa
Modulus elastisitas, E	= $4700 \times \sqrt{f'_c}$
	= $4700 \times \sqrt{55}$
	= 34856,133 MPa

Mutu baja tulangan, $f_y$	= 400 MPa
---------------------------	-----------

Berdasarkan SNI-T-12-2004 pasal 5.5.3 tebal minimum pelat lantai harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \quad \text{atau,}$$

$$t_s \geq (100 + 40 b) \text{ mm}$$

$$\geq (100 + 40 \times 3,3)$$

$$\geq 132 \text{ mm}$$

Dimana:

b = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat web (dalam meter)

Maka digunakan tebal pelat lantai kendaraan,  $d_3 = 400 \text{ mm}$ .  
Tebal aspal rencana yang digunakan,  $d_4 = 80 \text{ mm}$

$$L = 91,1 \text{ m}$$

$$S = 3,3 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{L}{S} = \frac{91,1}{3,3} = 27,61 > 2$$

(Pelat satu arah)

## 4.2.2 Perencanaan Tulangan Pelat

### 4.2.2.1 Pembebanan

Beban Mati

Berat pelat	0,4 m x 1 m x 25 kN/m <sup>3</sup>	10 kN/m
Berat aspal	0,08 m x 1 m x 22 kN/m <sup>3</sup>	1,76 kN/m
Beban mati total (qD)		11,76 kN/m

Beban Hidup

Beban Truk (T), berdasarkan SNI T-02-2005 pasal 6.4.1 besar beban roda truk  $T = 112,5 \text{ kN}$  dan faktor beban  $K_{TT}^u = 1,8$ . Faktor beban dinamis (DLA) untuk beban truk T adalah 30%

$$T' = T \times (1 + \text{DLA})$$

$$= 112,5 \times (1 + 0,3)$$

$$= 146,25 \text{ kN}$$

$$\text{Beban truk ultimate, } T_u = K_{TT}^u \cdot T' = 1,8 \cdot 146,25 = 263,25 \text{ kN}$$

Perhitungan momen arah melintang

Akibat beban mati, qD

$$M_D = \frac{1}{10} q_D l^2 = \frac{1}{10} \times 11,76 \times 3,3^2 = 12,807 \text{ kNm}$$

Akibat beban T

$$M_T = 0,8 \times \frac{(S + 0,6)}{10} T_u = 0,8 \times \frac{(3,3 + 0,6)}{10} \times 263,25$$

$$= 82,134 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen total, } M_u = 12,807 + 82,134 = 94,941 \text{ kNm}$$

#### 4.2.2.2 Penulangan Arah Melintang

Perhitungan penulangan arah melintang didasarkan pada SNI 2847-2013. Rasio tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari  $0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$  dan juga tidak boleh kurang dari  $\frac{1,4}{f_y}$  dan tidak melebihi 0.025.

$$\begin{aligned} f'_c &= 55 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ \text{Selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Tebal pelat} &= 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm} \\ \text{Diameter tulangan} &= 25 \text{ mm} \\ d = 400 - 40 - 25/2 &= 347,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{55}}{400} = 0,004635$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85(55)} = 8,556$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}; \phi = 0.9$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{94,941}{0.9} = 105,49 \text{ kNm} = 105490000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{105490000}{1000 \cdot 347,5^2} = 0,874 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8,556} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,556 \times 0,874}{400}} \right) \\ &= 0,0022 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0047$$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= A_{sc} = \rho \cdot b \cdot w \cdot d \\
 &= 0.0047 \times 1000 \times 347,5 \\
 &= 1633,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan =  $A_s$  perlu / Luas tulangan **D25 = 4 buah / meter**

$$A_s = 1963,495 \text{ mm}^2$$

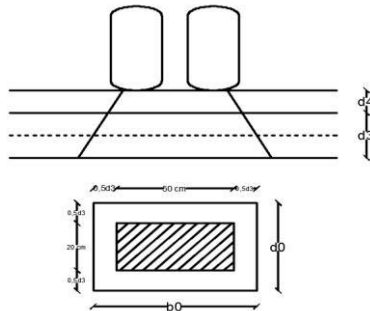
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1963,495 \cdot 400}{0,85 \cdot 55 \cdot 1000} = 16,8 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{16,8}{0,657} = 25,57 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \left( \frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left( \frac{347,5}{25,57} - 1 \right) = 0,038$$

$\epsilon_t > 0,005$  sehingga pelat termasuk dalam kondisi terkontrol tarik dengan nilai  $\phi$  sebesar 0,9.

#### 4.2.2.3 Kontrol Geser Ponds



**Gambar 4.1** Kontrol Geser Ponds Pelat

Kontrol penampang akibat geser didasarkan pada roda tengah truk (beban truk) dengan:

$$T = 112,5 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Beban Dinamis (DLA)} = 30\%$$

$$K_{TT}^U = 1,8$$

$$d = 380 \text{ mm}$$

$$Vu = T \times (1 + DLA) \times K_{TT}^U$$

$$Vu = 112500 \times (1 + 0.3) \times 1.8 = 263250 \text{ N}$$

Syarat kekuatan geser yaitu  $Vu < \phi Vc$ , dimana  $\phi = 0.75$

Kontrol geser ponds pada pelat lantai kendaraan dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.

### **Kontrol 1**

$$Vc = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f'c} \cdot A_{kritis}$$

$$\beta_c = \frac{50}{20} = 2.5$$

$$b_0 = \frac{d}{2} + 50 + \frac{d}{2} = 19 + 50 + 19 = 88 \text{ cm}$$

$$d_0 = \frac{d}{2} + 20 + \frac{d}{2} = 19 + 20 + 19 = 58 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling kritis (U)} &= 2 \times (b_0 + d_0) = 2 \times (880 + 580) \\ &= 2920 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{kritis} &= U \times d = 2920 \text{ mm} \times 380 \text{ mm} \\ &= 1109600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Vc = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{2.5} \right) \sqrt{55} \times 1109600 = 2518078,235 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0.75 \times 2518078,235 = 1888558,677 \text{ N}$$

$$Vu < \phi Vc$$

$$263250 \text{ N} < 1888558 \text{ N} \dots\dots \text{OK}$$

### **Kontrol 2**

$$\alpha_s = 40$$

$$Vc = \left( \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'c} \cdot A_{kritis}}{12}$$

$$Vc = \left( \frac{40 \times 380}{880} + 2 \right) \frac{\sqrt{55} \times 1109600}{12} = 13216294,96 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0.75 \times 13216294,96 = 9912221,218 \text{ N}$$

$$Vu < \phi Vc$$

$$263250 \text{ N} < 9912221 \dots \dots \text{OK}$$

### **Kontrol 3**

$$Vc = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot A_{kritis}$$

$$Vc = \frac{1}{3} \sqrt{55} \times 1109600 = 2743004,614 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0.75 \times 2743004,614 = 2057253,46 \text{ N}$$

$$Vu < \phi Vc$$

$$263250 \text{ N} < 2057253,46 \dots \dots \text{OK}$$

## **4.3 Perencanaan Sandaran Jembatan**

### **4.3.1 Perencanaan Pipa Sandaran**

Berdasarkan SNI T-02-2005 pasal 12.5, sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu  $w^* = 0,75 \text{ kN/m}$ . beban-beban ini bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertical pada masing-masing sandaran.

Tiang sandaran direncanakan untuk beban daya layan rencana:

$w^* L$ , dengan:

$L$  adalah bentang palang diantara tiang dalam m.

#### **4.3.1.1. Pembebanan**

Pipa sandaran rencana yang digunakan adalah pipa baja berdiameter 3 inchi atau 76,3 mm dengan data sebagai berikut:

$$\text{Diameter} = 76,3 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 4 \text{ mm}$$

$$\text{Berat pipa} = 0,113 \text{ kN/m}$$

$$W \text{ (section modulus)} = 15,6 \text{ cm}^3 = 15600 \text{ mm}^3$$

$$\text{Mutu baja} = \text{BJ 37 (fy} = 240 \text{ MPa)}$$

$$\Sigma_{ijin} = 240/1,5 = 160 \text{ MPa}$$



Faktor beban yang digunakan adalah sebagai berikut:

Baja ( $K_{MS}^U$ ) = 1,1 (SNI T-02-2005 Tabel 2)

Beban pejalan kaki ( $K_{TP}^U$ ) = 1,8 (SNI T-02-2005 Tabel 16)

$P_{hidup\ sandaran} = 0,75 \text{ KN/m}$

Jarak pusat ke pusat tiang sandaran ( $L$ ) = 2 m

Beban pipa sandaran yang bekerja arah vertikal

$$\begin{aligned} P_v &= \text{Berat sendiri} + P_{hidup\ sandaran} \\ &= 0,113 \text{ KN/m} + 0,75 \text{ KN/m} \\ &= 0,863 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

Beban pipa sandaran yang bekerja arah horizontal

$$P_H = + P_{hidup\ sandaran} = 0,75 \text{ KN/m}$$

#### 4.3.1.2. Perhitungan Momen

Momen beban pipa arah vertikal

$$M_v = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 0,863 \times 2^2 = 0,4315 \text{ kNm} = 431500 \text{ Nmm}$$

Momen beban pipa arah horizontal

$$M_H = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 0,75 \times 2^2 = 0,375 \text{ kNm} = 375000 \text{ Nmm}$$

#### 4.3.1.3. Kontrol Tegangan

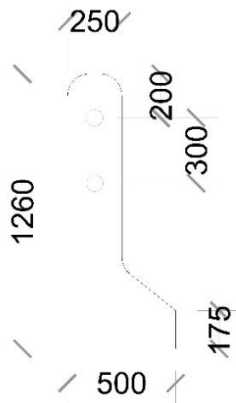
Tegangan yang dihitung merupakan tegangan total dari beban vertikal dan beban horizontal karena beban tersebut bekerja secara bersama-sama.

$$\begin{aligned} \sigma_{total} &= \sigma_v + \sigma_H \\ &= \frac{M_v}{W} + \frac{M_H}{W} \\ &= \frac{431500}{15600} + \frac{375000}{15600} = 51,699 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{total} < \sigma_{ijin}$$

$$51,699 < 160 \text{ MPa} \dots\dots \text{OK}$$

### 4.3.2 Perencanaan Tiang Sandaran



**Gambar 4.2** Dimensi Tiang Sandaran

#### 4.3.2.1 Pembebanan

##### Data Tiang Sandaran

$$A = 0.37876 \text{ m}^2$$

$$P = 3.294499 \text{ m}$$

$$Y_a = 0.724239 \text{ m}$$

$$Y_b = 0.535761 \text{ m}$$

$$X_{ki} = 0.16694 \text{ m}$$

$$X_{ka} = 0.33306 \text{ m}$$

##### - Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pipa I} &= (0.113 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m}) \times 1.1 \\ &= 0.2486 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pipa II} &= (0.113 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m}) \times 1.1 \\ &= 0.2486 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang sandaran} &= (0.3787 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m}) \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 \\ &= 2.363 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### - Beban hidup

$$P_{\text{hidup vertikal}} \times L = 0.75 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \times 1.8 = 2.7 \text{ kN}$$

$$P_{\text{hidup horizontal}} \times L = 0.75 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \times 1.8 = 2.7 \text{ kN}$$

#### 4.3.2.2 Perhitungan Momen

Perhitungan momen di tumpuan (jepit)

- Momen akibat beban mati
 
$$\begin{aligned} M_{D1} &= 0,2486 \text{ kN} \times 1,06 \text{ m} &= 0,264 \text{ kNm} \\ M_{D2} &= 0,2486 \text{ kN} \times 0,76 \text{ m} &= 0,189 \text{ kNm} \\ M_{D3} &= 2.363 \text{ kN} \times 0,535761 \text{ m} &= \underline{1,266 \text{ kNm}} + \\ M_D &&= 1,719 \text{ kNm} \end{aligned}$$
- Momen akibat beban hidup
 
$$\begin{aligned} M_{LV} &= 2,7 \text{ kN} \times 0 \text{ m} &= 0 \text{ kNm} \\ M_{LH} &= 2,7 \text{ kN} \times 1,26 \text{ m} &= \underline{3.402 \text{ kNm}} + \\ M_L &&= 3,402 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 4.3.2.3 Penulangan Tiang Sandaran

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\phi \text{ tul. lentur} = 13 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ tul. geser} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 250 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 13 \text{ mm} = 183.5 \text{ mm}$$

$$M_u = M_D + M_L = 1,719 + 3,402 = 5,121 \text{ kNm}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{240}{0,85(30)} = 9,412$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}; \phi = 0.9$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{5,121}{0,9} = 5,69 \text{ kNm} = 5690000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{5690000}{200 \cdot 183.5^2} = 0.845 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 0.845}{240}} \right)$$

$$= 0,0036$$

$$\rho_{pakai} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_{sc} = \rho \cdot b \cdot w \cdot d \\ &= 0.0058 \times 200 \times 183,5 \\ &= 212.86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan lentur D13 sebanyak 2 buah

$$A_s = 265,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= A_s \text{ perlu} / \text{Luas tulangan} \\ &= 212,86 / 132.7 = 1,6 \end{aligned}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{265,5 \cdot 240}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 12,494 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{12,494}{0,657} = 19,017 \text{ mm}$$

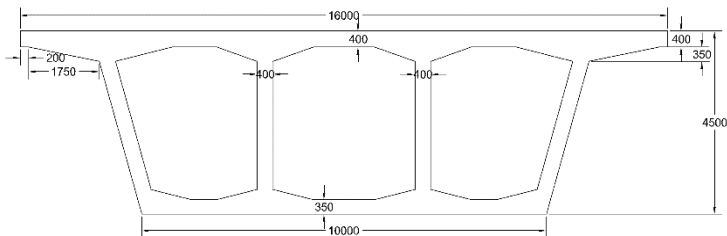
$$\epsilon_t = 0,003 \left( \frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left( \frac{183,5}{19,017} - 1 \right) = 0,026$$

$\epsilon_t > 0,005$  sehingga pelat termasuk dalam kondisi terkontrol tarik dengan nilai  $\phi$  sebesar 0,9.

#### 4.4 Perencanaan Gelagar Pratekan

##### 4.4.1 Preliminari Desain Penampang Girder

###### 4.4.1.1 Desain penampang lapangan

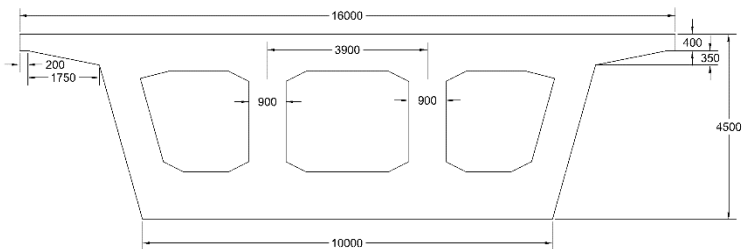


**Gambar 4.3** Desain Penampang Lapangan

Data Penampang:

A	=	18.079	m <sup>2</sup>	=	1.81E+07	mm <sup>2</sup>
h	=	4.500	m	=	4500.0	mm
Y <sub>a</sub>	=	1.847	m	=	1847.1	mm
Y <sub>b</sub>	=	2.653	m	=	2652.9	mm
X <sub>ka</sub>	=	8.000	m	=	8000.0	mm
X <sub>ki</sub>	=	8.000	m	=	8000.0	mm
I <sub>x</sub>	=	47.107	m <sup>4</sup>	=	4.71E+13	mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	=	309.987	m <sup>4</sup>	=	3.10E+14	mm <sup>4</sup>
W <sub>a</sub>	=	17.757	m <sup>3</sup>	=	1.78E+10	mm <sup>3</sup>
W <sub>b</sub>	=	25.503	m <sup>3</sup>	=	2.55E+10	mm <sup>3</sup>
W <sub>ka</sub>	=	38.748	m <sup>3</sup>	=	3.87E+10	mm <sup>3</sup>
W <sub>ki</sub>	=	38.748	m <sup>3</sup>	=	3.87E+10	mm <sup>3</sup>
K <sub>a</sub>	=	0.982	m	=	982.195	mm
K <sub>b</sub>	=	1.411	m	=	1410.680	mm
K <sub>ka</sub>	=	2.143	m	=	2143.331	mm
K <sub>ki</sub>	=	2.143	m	=	2143.331	mm

#### 4.4.1.2 Penampang pada tumpuan



**Gambar 4.4** Desain Penampang Tumpuan

Data Penampang:

A	=	32.675	m <sup>2</sup>	=	3.27E+07	mm <sup>2</sup>
h	=	4.500	m	=	4500.0	mm
Y <sub>a</sub>	=	2.024	m	=	2023.6	mm

Yb	=	2.476	m	=	2476.4	mm
Xka	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Xki	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Ix	=	80.153	m <sup>4</sup>	=	8.02E+13	mm <sup>4</sup>
Iy	=	472.722	m <sup>4</sup>	=	4.73E+14	mm <sup>4</sup>
Wa	=	32.367	m <sup>3</sup>	=	3.24E+10	mm <sup>3</sup>
Wb	=	39.609	m <sup>3</sup>	=	3.96E+10	mm <sup>3</sup>
Wka	=	59.090	m <sup>3</sup>	=	5.91E+10	mm <sup>3</sup>
Wki	=	59.090	m <sup>3</sup>	=	5.91E+10	mm <sup>3</sup>
Ka	=	1.790	m	=	1790.343	mm
Kb	=	2.191	m	=	2190.950	mm
Kka	=	3.269	m	=	3268.517	mm
Kki	=	3.269	m	=	3268.517	mm

Penampang tumpuan sepanjang 2 m pada ujung-ujung jembatan kemudian dilanjutkan penampang peralihan sepanjang 2 m.

#### 4.4.2 Analisa Pembebanan

##### 4.4.2.1 Beban Mati

Tumpuan	18,079 m <sup>2</sup> x 25 kN/m <sup>3</sup>	451.965 kN/m
Lapangan	32,675 m <sup>2</sup> x 25 kN/m <sup>3</sup>	634.420 kN/m

##### 4.4.2.2 Beban Mati Tambahan/Utilitas

Lantai Jembatan		
Aspal	0.08 m x 22 kN/m <sup>3</sup>	17.6 kN/m
Air hujan	0.05 m x 10 kN/m <sup>3</sup>	5 kN/m
Trotoar		
Kerb	3 m x 0.08 m x 24 kN/m <sup>3</sup>	5.76 kN/m
Pagar beton	0.03788 m <sup>2</sup> x 0.678 kN/6m x 2	0.909 kN/m
Tiang pembatas	0.5 x 0.5184 kN/6m	0.043 kN/m
Pagar pejalan	2 x 0.327 kN/m	0.109 kN/m
Pipa drainase	0.85 x 0.003 kN/m	0.002 kN/m
Lampu jalan		0.05 kN/m

#### 4.4.2.3 Beban Hidup

##### - Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban terbagi rata mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$

Jika  $L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$

Jika  $L > 30 \text{ m} : q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$

Maka :

$$q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) = 9 \times \left( 0,5 + \frac{15}{91,1} \right) \\ = 7,464 \text{ kN/m}^2$$

Keterangan

$q$  adalah intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  adalah panjang total jembatan yang dibebani

##### - Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban garis terpusat dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya adalah 49 kN/m dan factor beban dinamis 30%. Sehingga besar  $p$  adalah 49,766 kN/m<sup>2</sup>.

##### - Gaya sentrifugal

Jembatan yang berada pada tikungan harus memperhitungkan bekerjanya suatu gaya horizontal radial yang dianggap bekerja pada tinggi 1,8 m di atas lantai kendaraan. Gaya horizontal tersebut harus sebanding dengan beban lajur  $D$  dan tidak boleh direduksi apabila panjang bentang melebihi 30 m.

$V = 60 \text{ km/jam}$

$R = 140 \text{ m}$

Akibat beban terbagi rata BTR

$T_T = 9 \text{ kPa}$

$$T_{TR} = 0,79 \frac{V^2}{100 \times R} T_T = 0,79 \frac{60^2}{100 \times 140} \times 9$$

$$= 1,828 \text{ kPa}$$

Akibat baban bergaris BGT

$$T_T = 49 \text{ kN/m}$$

$$T_{TR} = 0,79 \frac{V^2}{100 \times R} T_T = 0,79 \frac{60^2}{100 \times 140} \times 49$$

$$= 9,954 \text{ kPa}$$

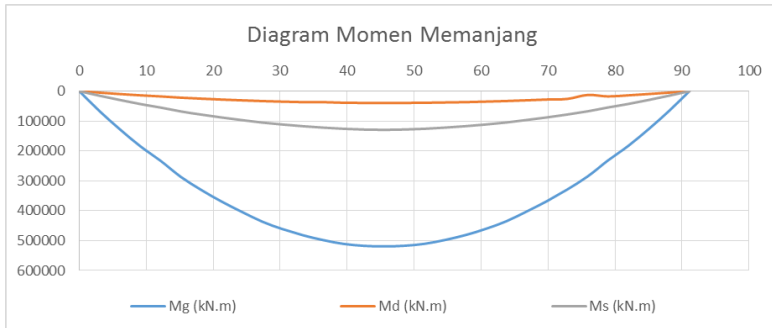


#### 4.4.3 Perhitungan Momen

Perhitungan momen dilakukan dengan bantuan program SAP2000.

**Tabel 4.5** Perhitungan Momen Arah Z

Titik	Mg (kN.m)	Md (kN.m)	MI (kN.m)
0	0	0	0
3.037	66871	4970.263	15279.76
6.073	127799	9624.311	29515.24
9.110	184175	13932.97	43091.33
12.147	233033	17665.01	54811.91
15.183	287004	21792.91	67844.62
18.220	330415	25111.21	78451.52
21.257	369368	28088.68	88085.75
24.293	403951	30732.12	96768.19
27.330	436439	33216.03	105072.5
30.367	461366	35121.32	111646.9
33.403	481918	36692.14	117267.3
36.440	498104	36648.65	121936.8
39.477	510688	38891.41	125860.6
42.513	517134	39384.04	128397.9
45.550	519205	39542.26	129521.8
48.587	516898	39365.94	128338.7
51.623	510218	38855.31	125743.6
54.660	497369	37872.78	121754.2
57.697	480957	36661.12	117029.8
60.733	460188	35030.69	111356.3
63.770	435052	33109.35	104731.2
66.807	402327	30607.23	96370.02
69.843	367561	27980.62	87643.61
72.880	328455	25901.85	77972.57
75.917	285029	12640.98	67362.84
78.953	231546	17550.53	54449.71
81.990	182712	13820.42	42735.12
85.027	126677	9527.955	29403.07
88.063	66020	4904.807	15072.66
91.100	0	0	0



**Gambar 4.5** Diagram Momen

#### 4.4.4 Perencanaan Tegangan Awal (Preliminary)

$$F_o = 290000 \text{ kN}$$

$$F_e = 0,7 F_o = 203000 \text{ kN}$$

σijin saat transfer:

- Batas atas = 0,000 MPa (Tarik)
- Batas bawah = -31,35 MPa (Tekan)

σijin saat servis:

- Batas atas = 0,000 MPa (Tarik)
- Batas bawah = -23,5125 MPa (Tekan)

Besar tegangan yang terjadi:

Saat transfer

$$\sigma = -\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \times e \times Y}{I_x} \mp \frac{M_g \times Y}{I_x}$$

Saat servis

$$\sigma = -\frac{F_e}{A} \pm \frac{F_e \times e \times Y}{I_x} \mp \frac{M_g \times Y}{I_x} \mp \frac{M_d \times Y}{I_x} \mp \frac{M_l \times Y}{I_x}$$

**Tabel 4.6** Rencana Tegangan Awal

Titik  (m)	Rencana Tegangan							
	Transfer				Servis			
	$\sigma$ yang terjadi (MPa)				$\sigma$ yang terjadi (MPa)			
	Serat Atas Total		Serat Bawah Total		Serat Atas Total		Serat Bawah Total	
0	-16.041	OK	-16.041	OK	-11.229	OK	-11.229	OK
3.037	-14.995	OK	-17.544	OK	-12.077	OK	-10.011	OK
6.073	-13.968	OK	-19.018	OK	-12.816	OK	-8.949	OK
9.110	-13.016	OK	-20.385	OK	-13.514	OK	-7.947	OK
12.147	-12.023	OK	-21.812	OK	-13.999	OK	-7.250	OK
15.183	-11.483	OK	-22.588	OK	-14.929	OK	-5.915	OK
18.220	-10.781	OK	-23.596	OK	-15.494	OK	-5.102	OK
21.257	-10.158	OK	-24.491	OK	-16.011	OK	-4.360	OK
24.293	-9.617	OK	-25.268	OK	-16.483	OK	-3.683	OK
27.330	-9.246	OK	-25.801	OK	-17.028	OK	-2.899	OK
30.367	-8.832	OK	-26.396	OK	-17.364	OK	-2.417	OK
33.403	-8.499	OK	-26.874	OK	-17.655	OK	-1.999	OK
36.440	-8.248	OK	-27.234	OK	-17.851	OK	-1.717	OK
39.477	-8.109	OK	-27.434	OK	-18.144	OK	-1.297	OK
42.513	-7.982	OK	-27.616	OK	-18.249	OK	-1.145	OK
45.550	-7.939	OK	-27.678	OK	-18.294	OK	-1.082	OK
48.587	-7.973	OK	-27.630	OK	-18.237	OK	-1.163	OK
51.623	-8.090	OK	-27.460	OK	-18.119	OK	-1.332	OK
54.660	-8.219	OK	-27.275	OK	-17.863	OK	-1.700	OK
57.697	-8.461	OK	-26.928	OK	-17.607	OK	-2.068	OK
60.733	-8.785	OK	-26.462	OK	-17.303	OK	-2.504	OK
63.770	-9.191	OK	-25.879	OK	-16.956	OK	-3.002	OK
66.807	-9.553	OK	-25.360	OK	-16.399	OK	-3.804	OK
69.843	-10.087	OK	-24.592	OK	-15.918	OK	-4.493	OK
72.880	-10.704	OK	-23.706	OK	-15.430	OK	-5.195	OK
75.917	-11.405	OK	-22.700	OK	-14.473	OK	-6.569	OK
78.953	-11.964	OK	-21.896	OK	-13.922	OK	-7.360	OK
81.990	-12.959	OK	-20.468	OK	-13.438	OK	-8.055	OK
85.027	-13.924	OK	-19.081	OK	-12.764	OK	-9.024	OK
88.063	-14.961	OK	-17.592	OK	-12.033	OK	-10.074	OK
91.100	-16.041	OK	-16.041	OK	-11.229	OK	-11.229	OK

Untuk tabel perhitungan rencana tegangan awal secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.5 Perhitungan Kebutuhan Tendon

Tendon yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Material tendon:

- Digunakan uncoated seven-wire relieved strand ASTM A416 grade 270
- Diameter nominal = 0,6 in = 15,2 mm
- Luas area nominal = 143,3 mm<sup>2</sup>
- Es = 200000 MPa
- fpu = 1860 MPa
- fpe = 0,7 x fpu = 0,7 x 1860 = 1302 MPa

Jumlah tendon:

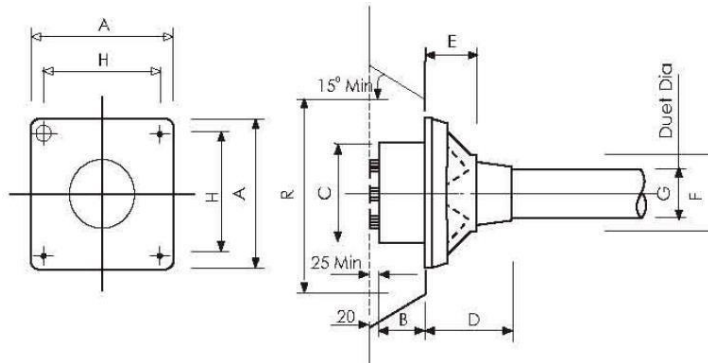
- Aps =  $F_o / f_{pe}$   
=  $290000 \times 1000 / 1302$   
= 222734,3 mm<sup>2</sup>
- Jumlah strand =  $A_{ps} / A_{nominal}$   
=  $222734,3 / 143,3$   
= 1595 buah
- Jumlah strand/tendon = 55 strand / tendon
- Diameter internal = 154 mm
- Diameter eksternal = 154 + 6 = 160 mm
- Jumlah tendon = 29

Sehingga digunakan **29** tendon unit **6-55** dengan jumlah strand sebanyak **1595** dengan luas area 228563.5 mm<sup>2</sup> dan  $F_o$  sebesar **297589,7 kN**.

#### 4.4.6 Pemilihan Tipe Angkur

Pemilihan tipe angkur disesuaikan dengan tabel VSL dengan tipe tendon masing-masing. Pada Jembatan THP Kenjeran ini, semua tendon menggunakan tipe yang sama yaitu tendon ASTM A416-

06 unit 6-55, sehingga angkur hidup yang dipakai adalah tipe 6-55, dengan dimensi angkur seperti pada gambar berikut:



**Gambar 4.6** Dimensi Angkur Hidup

Dimana:

A	= 600 mm
B	= 190 mm
C	= 360 mm
D	= 1070 mm
E	= 120 mm
F	= 294 mm
G	= 154 mm
H	= 520 mm
R	= 900 mm

#### 4.4.7 Permodelan pada Program SAP2000

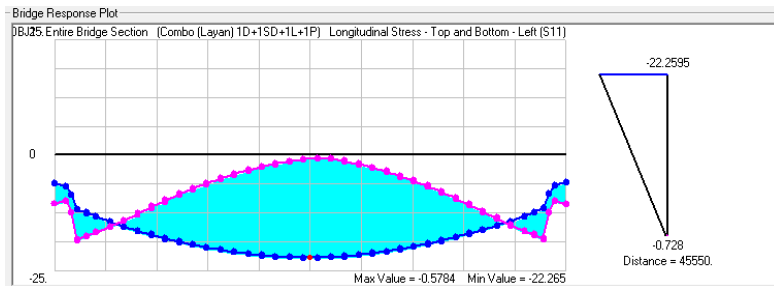
Permodelan pada SAP menggunakan permodelan 3D agar menyerupai bentuk asli dari perencanaan jembatan. Beban dimasukkan sesuai pembebanan yang dibahas pada bab 4.4.2 kemudian tendon dimasukkan sesuai dengan pasal 4.4.5 yaitu tendon unit 6-55 sebanyak 29 tendon dengan kombinasi beban layan dan asumsi kehilangan prategang sebesar 30% yang kemudian menghasilkan tegangan sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Tegangan 29 tendon hasil analisa SAP

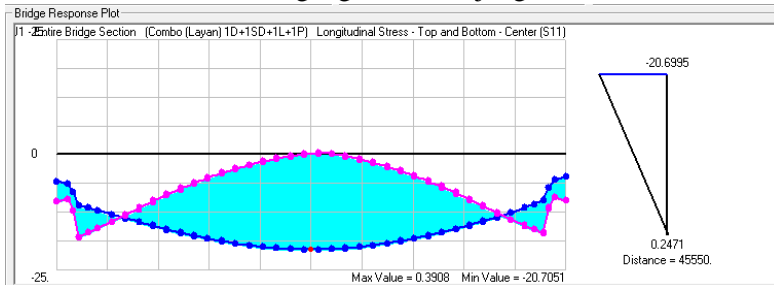
Jarak	Top Left	Bot Left	Top Center	Bot Center	Top Right	Bot Right
(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0	-6.173	-10.471	-5.767	-10.218	-5.362	-9.964
2000	-6.681	-9.854	-6.336	-9.638	-5.990	-9.423
2000	-6.697	-9.867	-6.375	-9.666	-6.054	-9.465
3000	-8.485	-12.353	-8.111	-12.119	-7.737	-11.885
3000	-8.532	-12.419	-8.073	-12.132	-7.614	-11.845
4000	-11.641	-18.276	-11.055	-17.910	-10.469	-17.543
4000	-11.715	-18.361	-10.985	-17.905	-10.255	-17.449
5692	-12.434	-17.471	-11.600	-16.950	-10.767	-16.429
5692	-12.505	-17.547	-11.557	-16.954	-10.610	-16.362
7385	-13.221	-16.685	-12.164	-16.024	-11.107	-15.363
7385	-13.305	-16.700	-12.147	-15.976	-10.988	-15.251
9846	-14.351	-15.552	-12.944	-14.673	-11.537	-13.793
9846	-14.431	-15.475	-13.010	-14.587	-11.589	-13.699
12308	-15.452	-14.277	-13.810	-13.251	-12.168	-12.225
12308	-15.596	-14.085	-13.906	-13.028	-12.215	-11.972
14771	-16.344	-12.929	-14.591	-11.833	-12.838	-10.738
14771	-16.521	-12.615	-14.722	-11.491	-12.922	-10.366
17235	-17.198	-11.417	-15.392	-10.288	-13.586	-9.159
17235	-17.362	-11.103	-15.545	-9.967	-13.729	-8.832
19697	-18.002	-10.031	-16.192	-8.900	-14.382	-7.769
19697	-18.145	-9.708	-16.335	-8.577	-14.525	-7.446
22159	-18.691	-8.660	-16.932	-7.561	-15.174	-6.462
22159	-18.823	-8.384	-17.066	-7.287	-15.310	-6.189
24621	-19.363	-7.419	-17.615	-6.326	-15.867	-5.234
24621	-19.483	-7.143	-17.738	-6.052	-15.993	-4.962
27084	-19.958	-6.277	-18.234	-5.199	-16.509	-4.122
27084	-20.070	-6.013	-18.346	-4.936	-16.623	-3.859
29546	-20.476	-5.186	-18.790	-4.132	-17.104	-3.078
29546	-20.573	-4.964	-18.889	-3.911	-17.204	-2.858
32008	-20.967	-4.245	-19.280	-3.191	-17.593	-2.136
32008	-21.054	-4.011	-19.368	-2.957	-17.681	-1.903
34470	-21.345	-3.364	-19.701	-2.337	-18.058	-1.309
34470	-21.419	-3.170	-19.774	-2.142	-18.130	-1.114

36932	-21.680	-2.585	-20.056	-1.570	-18.432	-0.555
36932	-21.737	-2.414	-20.114	-1.400	-18.490	-0.385
39394	-21.957	-1.955	-20.336	-0.942	-18.715	0.072
39394	-22.005	-1.780	-20.382	-0.765	-18.758	0.250
41856	-22.119	-1.366	-20.545	-0.382	-18.971	0.602
41856	-22.150	-1.245	-20.573	-0.260	-18.997	0.725
44319	-22.249	-0.929	-20.680	0.052	-19.111	1.033
44319	-22.265	-0.811	-20.694	0.171	-19.123	1.153
46781	-22.254	-0.645	-20.705	0.323	-19.156	1.291
46781	-22.250	-0.578	-20.699	0.391	-19.149	1.360
49243	-22.127	-0.693	-20.602	0.260	-19.078	1.212
49243	-22.092	-0.787	-20.570	0.164	-19.048	1.115
51705	-21.960	-1.190	-20.404	-0.217	-18.847	0.756
51705	-21.907	-1.370	-20.352	-0.398	-18.797	0.574
54167	-21.665	-1.835	-20.125	-0.873	-18.585	0.090
54167	-21.602	-2.005	-20.062	-1.042	-18.521	-0.080
56629	-21.332	-2.594	-19.775	-1.621	-18.219	-0.649
56629	-21.251	-2.794	-19.697	-1.822	-18.142	-0.851
59091	-20.932	-3.436	-19.356	-2.451	-17.779	-1.466
59091	-20.840	-3.671	-19.263	-2.685	-17.685	-1.699
61553	-20.428	-4.402	-18.864	-3.424	-17.300	-2.446
61553	-20.325	-4.625	-18.760	-3.647	-17.195	-2.669
64016	-19.900	-5.455	-18.307	-4.459	-16.714	-3.464
64016	-19.783	-5.725	-18.190	-4.728	-16.596	-3.732
66478	-19.277	-6.596	-17.684	-5.600	-16.090	-4.604
66478	-19.151	-6.870	-17.555	-5.873	-15.959	-4.875
68940	-18.597	-7.852	-16.997	-6.852	-15.396	-5.852
68940	-18.459	-8.131	-16.858	-7.130	-15.256	-6.130
71402	-17.882	-9.182	-16.247	-8.159	-14.611	-7.137
71402	-17.736	-9.506	-16.099	-8.483	-14.462	-7.460
73865	-17.068	-10.598	-15.441	-9.580	-13.814	-8.563
73865	-16.909	-10.898	-15.288	-9.885	-13.666	-8.871
76328	-16.235	-12.099	-14.581	-11.065	-12.927	-10.031
76328	-16.097	-12.396	-14.433	-11.356	-12.769	-10.316
78791	-15.340	-13.603	-13.689	-12.571	-12.038	-11.539
78791	-15.283	-13.849	-13.566	-12.775	-11.849	-11.702
81253	-14.344	-15.135	-12.712	-14.116	-11.081	-13.096

81253	-14.320	-15.224	-12.611	-14.156	-10.902	-13.088
83714	-13.235	-16.496	-11.596	-15.471	-9.957	-14.447
83714	-13.188	-16.448	-11.528	-15.410	-9.867	-14.372
85407	-12.424	-17.335	-10.776	-16.305	-9.128	-15.275
85407	-12.373	-17.193	-10.735	-16.169	-9.098	-15.146
87099	-11.578	-18.143	-9.941	-17.120	-8.304	-16.097
87099	-11.525	-17.993	-9.900	-16.977	-8.274	-15.961
88099	-8.402	-12.416	-7.128	-11.620	-5.854	-10.824
88099	-8.356	-12.318	-7.092	-11.528	-5.828	-10.738
89099	-6.544	-9.981	-5.465	-9.307	-4.387	-8.633
89099	-6.506	-9.905	-5.435	-9.236	-4.364	-8.566
91099	-5.882	-10.587	-4.813	-9.919	-3.745	-9.252

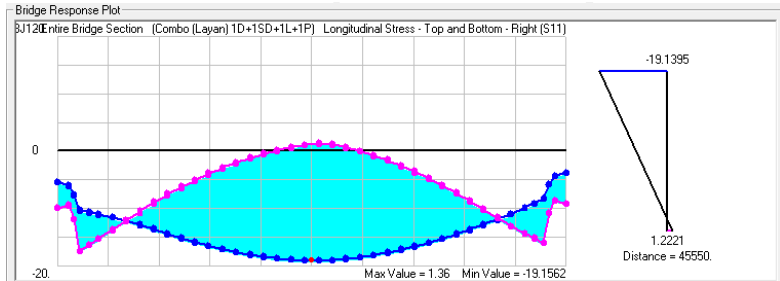


**Gambar 4.7** Tegangan Memanjang Kiri 29 Tendon



**Gambar 4.8** Tegangan Memanjang Tengah 29 Tendon





**Gambar 4.9** Tegangan Memanjang Kanan 29 Tendon

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi pada penampang dengan kombinasi beban layan tidak memenuhi kriteria tegangan ijin yang direncanakan. Maka dari itu direncanakan tendon tambahan unit 6-55 sejumlah 2 tendon dengan total  $F_o = 244327$  kN. Susunan koodinat tendon adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (1)

Titik	TEN 1		TEN 2		TEN 3		TEN 4	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	-1377.3	-5678.0	-1447.1	-1950	-1447.1	1950	-1377.3	5678.0
3.037	-1032.5	-5612.6	-1093.3	-1950	-1093.3	1950	-1032.5	5612.6
6.073	-711.5	-5551.7	-763.9	-1950	-763.9	1950	-711.5	5551.7
9.110	-414.2	-5495.4	-458.9	-1950	-458.9	1950	-414.2	5495.4
12.147	-140.8	-5443.5	-178.3	-1950	-178.3	1950	-140.8	5443.5
15.183	108.9	-5396.1	78.0	-1950	78.0	1950	108.9	5396.1
18.220	334.8	-5353.2	309.8	-1950	309.8	1950	334.8	5353.2
21.257	536.9	-5314.9	517.2	-1950	517.2	1950	536.9	5314.9
24.293	715.2	-5281.0	700.2	-1950	700.2	1950	715.2	5281.0
27.330	869.8	-5251.6	858.8	-1950	858.8	1950	869.8	5251.6
30.367	1000.6	-5226.7	993.0	-1950	993.0	1950	1000.6	5226.7
33.403	1107.6	-5206.4	1102.8	-1950	1102.8	1950	1107.6	5206.4
36.440	1190.8	-5190.5	1188.2	-1950	1188.2	1950	1190.8	5190.5
39.477	1250.2	-5179.1	1249.2	-1950	1249.2	1950	1250.2	5179.1
42.513	1285.9	-5172.2	1285.9	-1950	1285.9	1950	1285.9	5172.2
45.550	1297.8	-5169.9	1298.1	-1950	1298.1	1950	1297.8	5169.9
48.587	1285.9	-5172.2	1285.9	-1950	1285.9	1950	1285.9	5172.2
51.623	1250.2	-5179.1	1249.2	-1950	1249.2	1950	1250.2	5179.1
54.660	1190.8	-5190.5	1188.2	-1950	1188.2	1950	1190.8	5190.5
57.697	1107.6	-5206.4	1102.8	-1950	1102.8	1950	1107.6	5206.4
60.733	1000.6	-5226.7	993.0	-1950	993.0	1950	1000.6	5226.7
63.770	869.8	-5251.6	858.8	-1950	858.8	1950	869.8	5251.6
66.807	715.2	-5281.0	700.2	-1950	700.2	1950	715.2	5281.0
69.843	536.9	-5314.9	517.2	-1950	517.2	1950	536.9	5314.9
72.880	334.8	-5353.2	309.8	-1950	309.8	1950	334.8	5353.2
75.917	108.9	-5396.1	78.0	-1950	78.0	1950	108.9	5396.1
78.953	-140.8	-5443.5	-178.3	-1950	-178.3	1950	-140.8	5443.5
81.990	-414.2	-5495.4	-458.9	-1950	-458.9	1950	-414.2	5495.4
85.027	-711.5	-5551.7	-763.9	-1950	-763.9	1950	-711.5	5551.7
88.063	-1032.5	-5612.6	-1093.3	-1950	-1093.3	1950	-1032.5	5612.6
91.100	-1377.3	-5678.0	-1447.1	-1950	-1447.1	1950	-1377.3	5678.0

**Tabel 4.5** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (2)

Titik	TEN 5		TEN 6		TEN 7		TEN 8	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	-789.9	-5541.0	-837.1	-1950	-837.1	1950	-789.9	5541.0
3.037	-495.0	-5489.9	-536.2	-1950	-536.2	1950	-495.0	5489.9
6.073	-220.5	-5442.2	-256	-1950	-256	1950	-220.5	5442.2
9.110	33.7	-5398.2	3.4579	-1950	3.4579	1950	33.7	5398.2
12.147	267.5	-5357.6	242.13	-1950	242.13	1950	267.5	5357.6
15.183	481.1	-5320.5	460.05	-1950	460.05	1950	481.1	5320.5
18.220	674.2	-5287.0	657.22	-1950	657.22	1950	674.2	5287.0
21.257	847.1	-5257.0	833.63	-1950	833.63	1950	847.1	5257.0
24.293	999.6	-5230.5	989.28	-1950	989.28	1950	999.6	5230.5
27.330	1131.8	-5207.6	1124.2	-1950	1124.2	1950	1131.8	5207.6
30.367	1243.6	-5188.1	1238.3	-1950	1238.3	1950	1243.6	5188.1
33.403	1335.1	-5172.2	1331.7	-1950	1331.7	1950	1335.1	5172.2
36.440	1406.3	-5159.8	1404.3	-1950	1404.3	1950	1406.3	5159.8
39.477	1457.1	-5151.0	1456.2	-1950	1456.2	1950	1457.1	5151.0
42.513	1487.6	-5145.6	1487.3	-1950	1487.3	1950	1487.6	5145.6
45.550	1497.7	-5143.8	1497.7	-1950	1497.7	1950	1497.7	5143.8
48.587	1487.6	-5145.6	1487.3	-1950	1487.3	1950	1487.6	5145.6
51.623	1457.1	-5151.0	1456.2	-1950	1456.2	1950	1457.1	5151.0
54.660	1406.3	-5159.8	1404.3	-1950	1404.3	1950	1406.3	5159.8
57.697	1335.1	-5172.2	1331.7	-1950	1331.7	1950	1335.1	5172.2
60.733	1243.6	-5188.1	1238.3	-1950	1238.3	1950	1243.6	5188.1
63.770	1131.8	-5207.6	1124.2	-1950	1124.2	1950	1131.8	5207.6
66.807	999.6	-5230.5	989.28	-1950	989.28	1950	999.6	5230.5
69.843	847.1	-5257.0	833.63	-1950	833.63	1950	847.1	5257.0
72.880	674.2	-5287.0	657.22	-1950	657.22	1950	674.2	5287.0
75.917	481.1	-5320.5	460.05	-1950	460.05	1950	481.1	5320.5
78.953	267.5	-5357.6	242.13	-1950	242.13	1950	267.5	5357.6
81.990	33.7	-5398.2	3.4579	-1950	3.4579	1950	33.7	5398.2
85.027	-220.5	-5442.2	-256	-1950	-256	1950	-220.5	5442.2
88.063	-495.0	-5489.9	-536.2	-1950	-536.2	1950	-495.0	5489.9
91.100	-789.9	-5541.0	-837.1	-1950	-837.1	1950	-789.9	5541.0

**Tabel 4.6** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (3)

Titik	TEN 9		TEN 10		TEN 11		TEN 12	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	-203.1	-5349	-227.1	-1950	-227.1	1950.0	-203.1	5349
3.037	41.842	-5312	21.011	-1950	21.0	1950.0	41.842	5312.1
6.073	269.91	-5278	252.03	-1950	252.0	1950.0	269.91	5277.8
9.110	481.1	-5246	465.94	-1950	465.9	1950.0	481.1	5245.9
12.147	675.42	-5217	662.77	-1950	662.8	1950.0	675.42	5216.7
15.183	852.86	-5190	842.49	-1950	842.5	1950.0	852.86	5189.9
18.220	1013.4	-5166	1005.1	-1950	1005.1	1950.0	1013.4	5165.6
21.257	1157.1	-5144	1150.7	-1950	1150.7	1950.0	1157.1	5143.9
24.293	1283.9	-5125	1279.1	-1950	1279.1	1950.0	1283.9	5124.7
27.330	1393.9	-5108	1390.4	-1950	1390.4	1950.0	1393.9	5108.1
30.367	1486.9	-5094	1484.7	-1950	1484.7	1950.0	1486.9	5093.9
33.403	1563.1	-5082	1561.8	-1950	1561.8	1950.0	1563.1	5082.3
36.440	1622.4	-5073	1621.9	-1950	1621.9	1950.0	1622.4	5073.2
39.477	1664.9	-5067	1664.8	-1950	1664.8	1950.0	1664.9	5066.7
42.513	1690.5	-5063	1690.7	-1950	1690.7	1950.0	1690.5	5062.6
45.550	1699.1	-5061	1699.4	-1950	1699.4	1950.0	1699.1	5061.1
48.587	1690.5	-5063	1691.1	-1950	1691.1	1950.0	1690.5	5062.6
51.623	1664.9	-5067	1665.7	-1950	1665.7	1950.0	1664.9	5066.7
54.660	1622.4	-5073	1623.2	-1950	1623.2	1950.0	1622.4	5073.2
57.697	1563.1	-5082	1563.5	-1950	1563.5	1950.0	1563.1	5082.3
60.733	1486.9	-5094	1486.8	-1950	1486.8	1950.0	1486.9	5093.9
63.770	1393.9	-5108	1393	-1950	1393.0	1950.0	1393.9	5108.1
66.807	1283.9	-5125	1282.1	-1950	1282.1	1950.0	1283.9	5124.7
69.843	1157.1	-5144	1154.1	-1950	1154.1	1950.0	1157.1	5143.9
72.880	1013.4	-5166	1009	-1950	1009.0	1950.0	1013.4	5165.6
75.917	852.86	-5190	846.76	-1950	846.8	1950.0	852.86	5189.9
78.953	675.42	-5217	667.46	-1950	667.5	1950.0	675.42	5216.7
81.990	481.1	-5246	471.07	-1950	471.1	1950.0	481.1	5245.9
85.027	269.91	-5278	257.58	-1950	257.6	1950.0	269.91	5277.8
88.063	41.842	-5312	26.988	-1950	27.0	1950.0	41.842	5312.1
91.100	-203.1	-5349	-220.7	-1950	-220.7	1950.0	-203.1	5349

**Tabel 4.7** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (4)

Titik	TEN 13		TEN 14		TEN 15		TEN 16	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	384.9	-5185	382.9	-1950	-227.1	-1950.0	384.9	5185
3.037	579.9	-5162	578.2	-1950	21.0	-1950.0	579.9	5162
6.073	761.5	-5141	760	-1950	252.0	-1950.0	761.5	5141
9.110	929.6	-5122	928.3	-1950	465.9	-1950.0	929.6	5122
12.147	1084	-5104	1083	-1950	662.8	-1950.0	1084	5104
15.183	1225	-5087	1225	-1950	842.5	-1950.0	1225	5087
18.220	1353	-5072	1353	-1950	1005.1	-1950.0	1353	5072
21.257	1468	-5059	1467	-1950	1150.7	-1950.0	1468	5059
24.293	1568	-5047	1568	-1950	1279.1	-1950.0	1568	5047
27.330	1656	-5037	1656	-1950	1390.4	-1950.0	1656	5037
30.367	1730	-5028	1730	-1950	1484.7	-1950.0	1730	5028
33.403	1790	-5021	1790	-1950	1561.8	-1950.0	1790	5021
36.440	1838	-5015	1838	-1950	1621.9	-1950.0	1838	5015
39.477	1871	-5011	1871	-1950	1664.8	-1950.0	1871	5011
42.513	1891	-5009	1891	-1950	1690.7	-1950.0	1891	5009
45.550	1898	-5008	1898	-1950	1699.4	-1950.0	1898	5008
48.587	1891	-5009	1891	-1950	1690.7	-1950.0	1891	5009
51.623	1871	-5011	1871	-1950	1664.8	-1950.0	1871	5011
54.660	1838	-5015	1838	-1950	1621.9	-1950.0	1838	5015
57.697	1790	-5021	1790	-1950	1561.8	-1950.0	1790	5021
60.733	1730	-5028	1730	-1950	1484.7	-1950.0	1730	5028
63.770	1656	-5037	1656	-1950	1390.4	-1950.0	1656	5037
66.807	1568	-5047	1568	-1950	1279.1	-1950.0	1568	5047
69.843	1468	-5059	1467	-1950	1150.7	-1950.0	1468	5059
72.880	1353	-5072	1353	-1950	1005.1	-1950.0	1353	5072
75.917	1225	-5087	1225	-1950	842.5	-1950.0	1225	5087
78.953	1084	-5104	1083	-1950	662.8	-1950.0	1084	5104
81.990	929.6	-5122	928.3	-1950	465.9	-1950.0	929.6	5122
85.027	761.5	-5141	760	-1950	252.0	-1950.0	761.5	5141
88.063	579.9	-5162	578.2	-1950	21.0	-1950.0	579.9	5162
91.100	384.9	-5185	382.9	-1950	-227.1	-1950.0	384.9	5185

**Tabel 4.8** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (5)

Titik	TEN 17		TEN 18		TEN 19		TEN 20	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	971.9	-5020	971.9	-1950	-227.1	1950.0	971.9	5020
3.037	1117	-5012	1117	-1950	21.0	1950.0	1117	5012
6.073	1252	-5004	1252	-1950	252.0	1950.0	1252	5004
9.110	1377	-4996	1377	-1950	465.9	1950.0	1377	4996
12.147	1492	-4990	1492	-1950	662.8	1950.0	1492	4990
15.183	1597	-4984	1597	-1950	842.5	1950.0	1597	4984
18.220	1692	-4978	1692	-1950	1005.1	1950.0	1692	4978
21.257	1778	-4973	1778	-1950	1150.7	1950.0	1778	4973
24.293	1853	-4969	1853	-1950	1279.1	1950.0	1853	4969
27.330	1918	-4965	1918	-1950	1390.4	1950.0	1918	4965
30.367	1973	-4962	1973	-1950	1484.7	1950.0	1973	4962
33.403	2018	-4959	2018	-1950	1561.8	1950.0	2018	4959
36.440	2053	-4957	2053	-1950	1621.9	1950.0	2053	4957
39.477	2078	-4955	2078	-1950	1664.8	1950.0	2078	4955
42.513	2093	-4954	2093	-1950	1690.7	1950.0	2093	4954
45.550	2098	-4954	2098	-1950	1699.4	1950.0	2098	4954
48.587	2093	-4954	2093	-1950	1690.7	1950.0	2093	4954
51.623	2078	-4955	2078	-1950	1664.8	1950.0	2078	4955
54.660	2053	-4957	2053	-1950	1621.9	1950.0	2053	4957
57.697	2018	-4959	2018	-1950	1561.8	1950.0	2018	4959
60.733	1973	-4962	1973	-1950	1484.7	1950.0	1973	4962
63.770	1918	-4965	1918	-1950	1390.4	1950.0	1918	4965
66.807	1853	-4969	1853	-1950	1279.1	1950.0	1853	4969
69.843	1778	-4973	1778	-1950	1150.7	1950.0	1778	4973
72.880	1692	-4978	1692	-1950	1005.1	1950.0	1692	4978
75.917	1597	-4984	1597	-1950	842.5	1950.0	1597	4984
78.953	1492	-4990	1492	-1950	662.8	1950.0	1492	4990
81.990	1377	-4996	1377	-1950	465.9	1950.0	1377	4996
85.027	1252	-5004	1252	-1950	252.0	1950.0	1252	5004
88.063	1117	-5012	1117	-1950	21.0	1950.0	1117	5012
91.100	971.9	-5020	971.9	-1950	-227.1	1950.0	971.9	5020

**Tabel 4.9** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (6)

Titik	TEN 21		TEN 22		TEN 23		TEN 24	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	1560	-4856	1603	-1950	1603	1950	1560	4856
3.037	1655	-4862	1692	-1950	1692	1950	1655	4862
6.073	1744	-4867	1776	-1950	1776	1950	1744	4867
9.110	1826	-4872	1853	-1950	1853	1950	1826	4872
12.147	1901	-4877	1924	-1950	1924	1950	1901	4877
15.183	1970	-4881	1989	-1950	1989	1950	1970	4881
18.220	2032	-4885	2048	-1950	2048	1950	2032	4885
21.257	2088	-4889	2100	-1950	2100	1950	2088	4889
24.293	2137	-4892	2147	-1950	2146	1950	2137	4892
27.330	2180	-4895	2187	-1950	2187	1950	2180	4895
30.367	2216	-4897	2221	-1950	2220	1950	2216	4897
33.403	2245	-4899	2248	-1950	2248	1950	2245	4899
36.440	2268	-4901	2270	-1950	2270	1950	2268	4901
39.477	2285	-4902	2286	-1950	2285	1950	2285	4902
42.513	2295	-4903	2295	-1950	2295	1950	2295	4903
45.550	2298	-4903	2298	-1950	2298	1950	2298	4903
48.587	2295	-4903	2295	-1950	2295	1950	2295	4903
51.623	2285	-4902	2286	-1950	2285	1950	2285	4902
54.660	2268	-4901	2270	-1950	2270	1950	2268	4901
57.697	2245	-4899	2248	-1950	2248	1950	2245	4899
60.733	2216	-4897	2221	-1950	2220	1950	2216	4897
63.770	2180	-4895	2187	-1950	2187	1950	2180	4895
66.807	2137	-4892	2147	-1950	2146	1950	2137	4892
69.843	2088	-4889	2100	-1950	2100	1950	2088	4889
72.880	2032	-4885	2048	-1950	2048	1950	2032	4885
75.917	1970	-4881	1989	-1950	1989	1950	1970	4881
78.953	1901	-4877	1924	-1950	1924	1950	1901	4877
81.990	1826	-4872	1853	-1950	1853	1950	1826	4872
85.027	1744	-4867	1776	-1950	1776	1950	1744	4867
88.063	1655	-4862	1692	-1950	1692	1950	1655	4862
91.100	1560	-4856	1603	-1950	1603	1950	1560	4856

**Tabel 4.10** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (7)

Titik	TEN 25		TEN 26		TEN 27		TEN 28	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	2253	-1830	2253	-1220	2253	-610	2253	0
3.037	2282	-1830	2282	-1220	2282	-610	2282	0
6.073	2309	-1830	2309	-1220	2309	-610	2309	0
9.110	2334	-1830	2334	-1220	2334	-610	2334	0
12.147	2357	-1830	2357	-1220	2357	-610	2357	0
15.183	2378	-1830	2378	-1220	2378	-610	2378	0
18.220	2397	-1830	2397	-1220	2397	-610	2397	0
21.257	2414	-1830	2414	-1220	2414	-610	2414	0
24.293	2429	-1830	2429	-1220	2429	-610	2429	0
27.330	2442	-1830	2442	-1220	2442	-610	2442	0
30.367	2453	-1830	2453	-1220	2453	-610	2453	0
33.403	2462	-1830	2462	-1220	2462	-610	2462	0
36.440	2469	-1830	2469	-1220	2469	-610	2469	0
39.477	2475	-1830	2475	-1220	2475	-610	2475	0
42.513	2478	-1830	2478	-1220	2478	-610	2478	0
45.550	2479	-1830	2479	-1220	2479	-610	2479	0
48.587	2478	-1830	2478	-1220	2478	-610	2478	0
51.623	2475	-1830	2475	-1220	2475	-610	2475	0
54.660	2469	-1830	2469	-1220	2469	-610	2469	0
57.697	2462	-1830	2462	-1220	2462	-610	2462	0
60.733	2453	-1830	2453	-1220	2453	-610	2453	0
63.770	2442	-1830	2442	-1220	2442	-610	2442	0
66.807	2429	-1830	2429	-1220	2429	-610	2429	0
69.843	2414	-1830	2414	-1220	2414	-610	2414	0
72.880	2397	-1830	2397	-1220	2397	-610	2397	0
75.917	2378	-1830	2378	-1220	2378	-610	2378	0
78.953	2357	-1830	2357	-1220	2357	-610	2357	0
81.990	2334	-1830	2334	-1220	2334	-610	2334	0
85.027	2309	-1830	2309	-1220	2309	-610	2309	0
88.063	2282	-1830	2282	-1220	2282	-610	2282	0
91.100	2253	-1830	2253	-1220	2253	-610	2253	0



**Tabel 4.11** Eksentrisitas Tendon Terhadap CGC (8)

Titik	TEN 29		TEN 30		TEN 31	
	ey	ex	ey	ex	ey	ex
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	2253	610	2253	1220	2253	1830
3.037	2282	610	2282	1220	2282	1830
6.073	2309	610	2309	1220	2309	1830
9.110	2334	610	2334	1220	2334	1830
12.147	2357	610	2357	1220	2357	1830
15.183	2378	610	2378	1220	2378	1830
18.220	2397	610	2397	1220	2397	1830
21.257	2414	610	2414	1220	2414	1830
24.293	2429	610	2429	1220	2429	1830
27.330	2442	610	2442	1220	2442	1830
30.367	2453	610	2453	1220	2453	1830
33.403	2462	610	2462	1220	2462	1830
36.440	2469	610	2469	1220	2469	1830
39.477	2475	610	2475	1220	2475	1830
42.513	2478	610	2478	1220	2478	1830
45.550	2479	610	2479	1220	2479	1830
48.587	2478	610	2478	1220	2478	1830
51.623	2475	610	2475	1220	2475	1830
54.660	2469	610	2469	1220	2469	1830
57.697	2462	610	2462	1220	2462	1830
60.733	2453	610	2453	1220	2453	1830
63.770	2442	610	2442	1220	2442	1830
66.807	2429	610	2429	1220	2429	1830
69.843	2414	610	2414	1220	2414	1830
72.880	2397	610	2397	1220	2397	1830
75.917	2378	610	2378	1220	2378	1830
78.953	2357	610	2357	1220	2357	1830
81.990	2334	610	2334	1220	2334	1830
85.027	2309	610	2309	1220	2309	1830
88.063	2282	610	2282	1220	2282	1830
91.100	2253	610	2253	1220	2253	1830

#### 4.4.8 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

##### 4.4.8.1 Kehilangan Segera (Kehilangan Langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari:

a. Kehilangan akibat slip anker

Pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh kemudian dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke angkur. Perlengkapan di dalam angkur mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi. Jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Rumus umum untuk menghitung kehilangan gaya prategangan akibat slip angkur:

$$\Delta f_s = \frac{\Delta a \cdot E_s}{L}$$

Dimana:

$\Delta a$  = asumsi slip angkur 2,5 mm

$E_s$  = Modulus elastisitas baja (MPa)

$L$  = panjang total kabel (mm)

**Tabel 4.12** Kehilangan Gaya Akibat Slip Angkur

Tendon	L (m)	$\Delta f_s$	%
1,5,9,13,17,21	94.906	52.684	4.05%
2,6,10,14,18,22	92.368	54.131	4.16%
3,7,11,15,19,23	89.830	55.661	4.28%
4,8,12,16,20,24	87.293	57.279	4.40%
25	92.290	54.177	4.16%
26	91.893	54.411	4.18%
27	91.496	54.647	4.20%
28	91.099	54.885	4.22%
29	90.702	55.125	4.23%
30	90.305	55.368	4.25%
31	89.908	55.612	4.27%

- b. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton (ES)

Besarnya nilai kehilangan tegangan akibat gesekan adalah sebagai berikut:

$$ES = n \frac{F_o}{A}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

**Tabel 4.13** Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton

Urutan Penarikan	Tendon	Fo	ES		Komulatif MPa	%
		(kN)	MPa			
1	1	10261.71	3.26	3.26	39.08	3.00%
	2	10261.71	3.26			
	3	10261.71	3.26			
	4	10261.71	3.26			
2	5	10261.71	3.26	3.26	35.83	2.75%
	6	10261.71	3.26			
	7	10261.71	3.26			
	8	10261.71	3.26			
3	9	10261.71	3.26	3.26	32.57	2.50%
	10	10261.71	3.26			
	11	10261.71	3.26			
	12	10261.71	3.26			
4	13	10261.71	3.26	3.26	29.31	2.25%
	14	10261.71	3.26			
	15	10261.71	3.26			
	16	10261.71	3.26			
5	17	10261.71	3.26	3.26	26.06	2.00%
	18	10261.71	3.26			
	19	10261.71	3.26			
	20	10261.71	3.26			
6	21	10261.71	3.26	3.26	22.80	1.75%
	22	10261.71	3.26			
	23	10261.71	3.26			
	24	10261.71	3.26			
7	25	10261.71	3.26	3.26	19.54	1.50%
8	26	10261.71	3.26	3.26	16.28	1.25%
9	27	10261.71	3.26	3.26	13.03	1.00%
10	28	10261.71	3.26	3.26	9.77	0.75%
11	29	10261.71	3.26	3.26	6.51	0.50%
12	30	10261.71	3.26	3.26	3.26	0.25%
13	31	10261.71	3.26	3.26	0.00	0.00%

c. Kehilangan akibat gesekan

$$Fx = F_0 e^{-\mu\alpha + KL}$$

$$K = 0.0016$$

$$\mu = 0.2$$

$$\alpha = 8.f / L$$

**Tabel 4.14** Panjang Tendon, Fokus arah Vertikal dan Fokus arah Horizontal

Tendon	L	fv	$\alpha 1$	fh	$\alpha 2$
1,5,9,13,17,21	94.906	2.675	0.226	7.597	0.640
2,6,10,14,18,22	92.368	2.745	0.238	7.431	0.644
3,7,11,15,19,23	89.830	2.745	0.244	7.258	0.646
4,8,12,16,20,24	87.293	2.675	0.245	7.093	0.650
25	92.290	0	0.000	7.251	0.629
26	91.893	0	0.000	7.220	0.629
27	91.496	0	0.000	7.190	0.629
28	91.099	0	0.000	7.159	0.629
29	90.702	0	0.000	7.125	0.628
30	90.305	0	0.000	8.125	0.720
31	89.908	0	0.000	9.125	0.812

**Tabel 4.15** Kehilangan prategang akibat gesekan (1)

Tendon 1,5,9,13,17,21						
Segmen	L	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$KL + \mu(\alpha 1 + \alpha 2)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Kehilangan
A-B	23.726	0.056	0.160	0.081	0.922	7.80%
B-C	47.453	0.113	0.320	0.163	0.850	15.00%
C-D	47.453	0.113	0.320	0.163	0.850	15.00%
D-E	23.726	0.056	0.160	0.081	0.922	7.80%
Kehilangan Prategang Terbesar						15.00%

**Tabel 4.16** Kehilangan prategang akibat gesekan (2)

Tendon 2,6,10,14,18,22						
Segmen	L	$\alpha$	$\alpha 2$	$KL + \mu(\alpha 1 + \alpha 2)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Kehilangan
A-B	23.092	0.059	0.161	0.081	0.922	7.78%
B-C	46.184	0.119	0.322	0.162	0.850	14.96%
C-D	46.184	0.119	0.322	0.162	0.850	14.96%
D-E	23.092	0.059	0.161	0.081	0.922	7.78%
Kehilangan Prategang Terbesar						14.96%

**Tabel 4.17** Kehilangan prategang akibat gesekan (3)

Tendon 3,7,11,15,19,23						
Segmen	L	$\alpha$	$\alpha^2$	$KL+\mu(\alpha l+\alpha^2)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Kehilangan
A-B	22.458	0.061	0.162	0.080	0.923	7.73%
B-C	44.915	0.122	0.323	0.161	0.851	14.87%
C-D	44.915	0.122	0.323	0.161	0.851	14.87%
D-E	22.458	0.061	0.162	0.080	0.923	7.73%
Kehilangan Prategang Terbesar						14.87%

**Tabel 4.18** Kehilangan prategang akibat gesekan (4)

Tendon 4,8,12,16,20,24						
Segmen	L	$\alpha$	$\alpha^2$	$KL+\mu(\alpha l+\alpha^2)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Kehilangan
A-B	21.823	0.061	0.163	0.080	0.923	7.66%
B-C	43.646	0.123	0.325	0.159	0.853	14.73%
C-D	43.646	0.123	0.325	0.159	0.853	14.73%
D-E	21.823	0.061	0.163	0.080	0.923	7.66%
Kehilangan Prategang Terbesar						14.73%

**Tabel 4.19** Kehilangan prategang akibat gesekan (5)

Tendon ,25,26,27,28,29,30,31						
Tendon	L	$\alpha$	$\alpha^2$	$KL+\mu(\alpha l+\alpha^2)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Kehilangan
25	46.145	0.000	0.322	0.138	0.871	12.92%
26	45.947	0.000	0.322	0.138	0.871	12.89%
27	45.748	0.000	0.322	0.138	0.871	12.86%
28	45.550	0.000	0.322	0.137	0.872	12.84%
29	45.351	0.000	0.322	0.137	0.872	12.81%
30	45.153	0.000	0.322	0.137	0.872	12.78%
31	44.954	0.000	0.322	0.136	0.872	12.75%

#### 4.4.8.2 Kehilangan Prategang Akibat Fungsi Waktu

##### a. Kehilangan gaya pratengan akibat rangkai beton

$$M_g = 519204500000 \text{ Nmm}$$

$$M_d = 39542260000 \text{ Nmm}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$F = 318113103 \text{ N}$$

$$f_{cir} = \frac{Fo}{A} + \frac{Fo \cdot e^2}{I} - \frac{Mg \cdot e}{I} = 19,308 \text{ MPa}$$

$$f_{cds} = \frac{Md \cdot e}{I} = 1,490 \text{ MPa}$$

$$CR = \frac{Es}{Ec} (f_{cir} - f_{cds}) = 163,579 \text{ MPa}$$

Dimana:

CR = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

$K_{cr}$  = koefisien elastis 1,6 (pascatarik).

$Es$  = modulus elastisitas baja (MPa).

$Ec$  = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).

$f_{cir}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa).

$f_{cds}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang (MPa).

- b. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton (SH)

$$K_{SH} = 0.58 \text{ (30 hari)}$$

$$Es = 200000 \text{ MPa}$$

$$V = 1,81 \cdot 10^7 \text{ mm}^2$$

$$S = 87999,7 \text{ mm}$$

$$V$$

$$\frac{V}{S} = 205.44 \text{ mm}$$

$$RH = 75\%$$

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} Es \left( 1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) \\ = 12,251 \text{ MPa}$$

Dimana:

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

$K_{SH}$  = koefisien susut .

$Es$  = modulus elastisitas baja (MPa).

$V$  = luas penampang box ( $\text{mm}^2$ ).  
 $S$  = keliling penampang box (mm)  
 $RH$  = kelembaban relatif.(75%)

- c. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE)  
 Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dihitung dengan menggunakan rumus:

$$RE = (K_{RE} - J(SH + CR + SE)) \times C = 101,137 \text{ MPa}$$

Dimana:

$RE$  = kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa).

$K_{RE}$  = koefisien relaksasi 128 MPa

$J$  = 0,15

$SH$  = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

$CR$  = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

$ES$  = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

$C$  = 1,00 (ambil nilai  $f_{pi}/f_{pu} = 0,7$ ).



## 4.4.8.3 Total Kehilangan Gaya Prategang

**Tabel 4.20** Tabel kehilangan prategang total

Tendon	Short term (%)			Long term (%)			Total
	ES	Slip Anchor	Wobble	CR	SH	RE	%
1	3.00%	4.05%	15.00%	12.564%	0.941%	7.768%	43.320%
2	3.00%	4.16%	14.96%	12.564%	0.941%	7.768%	43.390%
3	3.00%	4.28%	14.87%	12.564%	0.941%	7.768%	43.416%
4	3.00%	4.40%	14.73%	12.564%	0.941%	7.768%	43.404%
5	2.75%	4.05%	15.00%	12.564%	0.941%	7.768%	43.070%
6	2.75%	4.16%	14.96%	12.564%	0.941%	7.768%	43.140%
7	2.75%	4.28%	14.87%	12.564%	0.941%	7.768%	43.165%
8	2.75%	4.40%	14.73%	12.564%	0.941%	7.768%	43.154%
9	2.50%	4.05%	15.00%	12.564%	0.941%	7.768%	42.819%
10	2.50%	4.16%	14.96%	12.564%	0.941%	7.768%	42.890%
11	2.50%	4.28%	14.87%	12.564%	0.941%	7.768%	42.915%
12	2.50%	4.40%	14.73%	12.564%	0.941%	7.768%	42.904%
13	2.25%	4.05%	15.00%	12.564%	0.941%	7.768%	42.569%
14	2.25%	4.16%	14.96%	12.564%	0.941%	7.768%	42.640%
15	2.25%	4.28%	14.87%	12.564%	0.941%	7.768%	42.665%
16	2.25%	4.40%	14.73%	12.564%	0.941%	7.768%	42.654%
17	2.00%	4.05%	15.00%	12.564%	0.941%	7.768%	42.319%
18	2.00%	4.16%	14.96%	12.564%	0.941%	7.768%	42.390%
19	2.00%	4.28%	14.87%	12.564%	0.941%	7.768%	42.415%
20	2.00%	4.40%	14.73%	12.564%	0.941%	7.768%	42.403%
21	1.75%	4.05%	12.92%	12.564%	0.941%	7.768%	39.989%
22	1.75%	4.16%	12.89%	12.564%	0.941%	7.768%	40.072%
23	1.75%	4.28%	12.86%	12.564%	0.941%	7.768%	40.162%
24	1.75%	4.40%	12.84%	12.564%	0.941%	7.768%	40.259%
25	1.50%	4.16%	12.92%	12.564%	0.941%	7.768%	39.853%
26	1.25%	4.18%	12.89%	12.564%	0.941%	7.768%	39.593%
27	1.00%	4.20%	12.86%	12.564%	0.941%	7.768%	39.334%
28	0.75%	4.22%	12.84%	12.564%	0.941%	7.768%	39.074%
29	0.50%	4.23%	12.81%	12.564%	0.941%	7.768%	38.815%
30	0.25%	4.25%	12.78%	12.564%	0.941%	7.768%	38.556%
31	0.00%	4.27%	12.75%	12.564%	0.941%	7.768%	38.297%

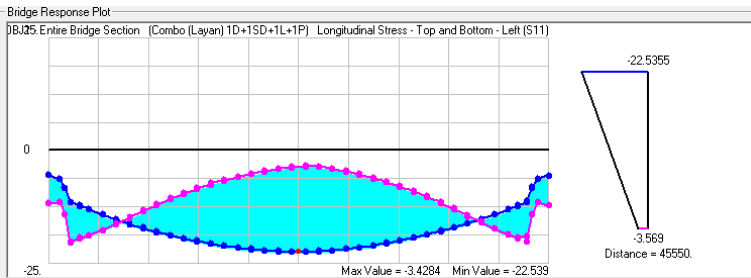
#### 4.4.9 Kontrol Tegangan Setelah Koreksi Jumlah Tendon dan Kehilangan Gaya Prategang

**Tabel 4.21** Tegangan Setelah Koreksi Jumlah Tendon dan Kehilangan Prategang

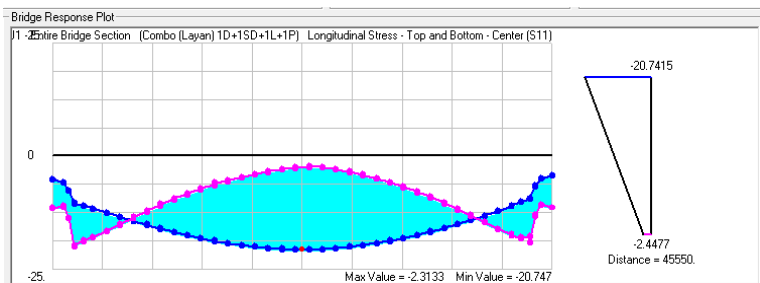
Jarak	Top Left	Bot Left	Top Center	Bot Center	Top Right	Bot Right
(m)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
0.000	-5.187	-11.589	-5.094	-11.531	-5.001	-11.473
2.000	-6.156	-11.375	-5.856	-11.188	-5.556	-11.000
2.000	-6.173	-11.252	-5.924	-11.096	-5.674	-10.940
3.000	-7.967	-14.037	-7.653	-13.841	-7.339	-13.645
3.000	-8.079	-13.957	-7.583	-13.647	-7.088	-13.338
4.000	-11.188	-20.412	-10.526	-19.998	-9.864	-19.585
4.000	-11.125	-20.206	-10.364	-19.731	-9.604	-19.256
5.692	-11.975	-19.347	-11.057	-18.772	-10.138	-18.198
5.692	-12.056	-19.554	-11.022	-18.908	-9.989	-18.262
7.385	-12.882	-18.721	-11.690	-17.976	-10.497	-17.231
7.385	-12.951	-18.806	-11.667	-18.003	-10.382	-17.200
9.846	-14.107	-17.681	-12.531	-16.696	-10.956	-15.711
9.846	-14.167	-17.638	-12.592	-16.653	-11.017	-15.669
12.308	-15.318	-16.408	-13.471	-15.253	-11.623	-14.099
12.308	-15.439	-16.240	-13.566	-15.069	-11.694	-13.899
14.771	-16.295	-15.105	-14.307	-13.862	-12.319	-12.620
14.771	-16.459	-14.837	-14.435	-13.572	-12.411	-12.307
17.235	-17.251	-13.664	-15.164	-12.360	-13.077	-11.055
17.235	-17.421	-13.395	-15.306	-12.074	-13.191	-10.752
19.697	-18.180	-12.319	-16.003	-10.959	-13.826	-9.598
19.697	-18.319	-12.044	-16.139	-10.682	-13.960	-9.320
22.159	-18.968	-11.018	-16.791	-9.658	-14.614	-8.297
22.159	-19.089	-10.782	-16.922	-9.428	-14.755	-8.073
24.621	-19.716	-9.863	-17.516	-8.488	-15.315	-7.113
24.621	-19.830	-9.633	-17.636	-8.262	-15.443	-6.891
27.084	-20.388	-8.812	-18.171	-7.426	-15.953	-6.040
27.084	-20.488	-8.593	-18.279	-7.212	-16.070	-5.831
29.546	-20.975	-7.829	-18.755	-6.441	-16.534	-5.053
29.546	-21.117	-7.336	-18.903	-5.952	-16.689	-4.569
32.008	-21.519	-6.979	-19.266	-5.571	-17.014	-4.163

32.008	-21.599	-6.788	-19.350	-5.383	-17.101	-3.977
34.470	-21.954	-6.198	-19.705	-4.792	-17.455	-3.386
34.470	-22.019	-6.041	-19.773	-4.638	-17.527	-3.234
36.932	-22.329	-5.510	-20.069	-4.098	-17.810	-2.686
36.932	-22.384	-5.373	-20.123	-3.960	-17.863	-2.547
39.394	-22.647	-4.958	-20.357	-3.526	-18.066	-2.094
39.394	-22.685	-4.810	-20.397	-3.380	-18.110	-1.950
41.856	-22.847	-4.450	-20.569	-3.027	-18.292	-1.603
41.856	-22.872	-4.344	-20.594	-2.920	-18.316	-1.497
44.319	-22.996	-4.062	-20.705	-2.630	-18.413	-1.198
44.319	-23.007	-3.957	-20.717	-2.526	-18.427	-1.095
46.781	-23.026	-3.826	-20.729	-2.390	-18.432	-0.955
46.781	-23.012	-3.754	-20.722	-2.323	-18.433	-0.893
49.243	-22.897	-3.851	-20.627	-2.432	-18.357	-1.013
49.243	-22.867	-3.925	-20.596	-2.506	-18.325	-1.086
51.705	-22.717	-4.291	-20.424	-2.858	-18.130	-1.424
51.705	-22.668	-4.437	-20.374	-3.004	-18.081	-1.571
54.167	-22.416	-4.873	-20.140	-3.450	-17.864	-2.028
54.167	-22.353	-5.011	-20.077	-3.589	-17.801	-2.166
56.629	-22.057	-5.557	-19.779	-4.134	-17.501	-2.710
56.629	-21.984	-5.719	-19.702	-4.293	-17.420	-2.867
59.091	-21.636	-6.322	-19.344	-4.890	-17.053	-3.458
59.091	-21.545	-6.513	-19.251	-5.080	-16.958	-3.646
61.553	-21.101	-7.198	-18.832	-5.780	-16.563	-4.362
61.553	-21.004	-7.386	-18.728	-5.963	-16.452	-4.540
64.016	-20.527	-8.168	-18.247	-6.743	-15.968	-5.318
64.016	-20.419	-8.391	-18.131	-6.961	-15.843	-5.531
66.478	-19.863	-9.231	-17.590	-7.811	-15.318	-6.390
66.478	-19.742	-9.461	-17.461	-8.036	-15.181	-6.611
68.940	-19.125	-10.405	-16.861	-8.990	-14.597	-7.575
68.940	-18.997	-10.644	-16.722	-9.222	-14.446	-7.800
71.402	-18.347	-11.683	-16.060	-10.253	-13.773	-8.824
71.402	-18.213	-11.955	-15.912	-10.517	-13.611	-9.079
73.865	-17.464	-13.054	-15.195	-11.636	-12.926	-10.218
73.865	-17.316	-13.304	-15.042	-11.883	-12.769	-10.462
76.328	-16.554	-14.502	-14.271	-13.076	-11.988	-11.649
76.328	-16.426	-14.757	-14.125	-13.319	-11.824	-11.881

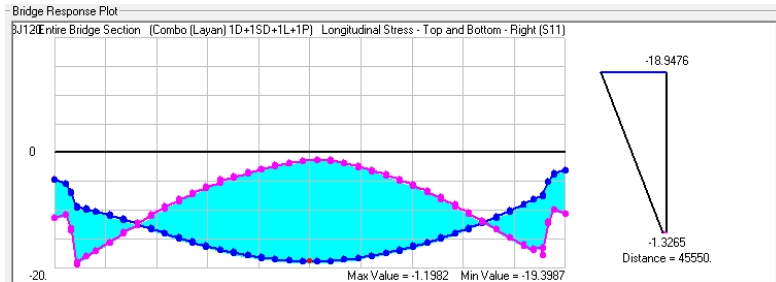
78.791	-15.580	-15.964	-13.321	-14.553	-11.063	-13.141
78.791	-15.538	-16.173	-13.200	-14.712	-10.862	-13.251
81.253	-14.474	-17.499	-12.260	-16.115	-10.046	-14.731
81.253	-14.465	-17.561	-12.162	-16.122	-9.859	-14.682
83.714	-13.287	-18.863	-11.082	-17.485	-8.877	-16.107
83.714	-13.253	-18.750	-11.028	-17.359	-8.802	-15.968
85.407	-12.398	-19.619	-10.221	-18.258	-8.044	-16.898
85.407	-12.330	-19.366	-10.177	-18.020	-8.023	-16.674
87.099	-11.617	-19.162	-9.509	-17.844	-7.400	-16.526
87.099	-11.420	-20.348	-9.345	-19.051	-7.270	-17.754
88.099	-8.230	-14.135	-6.618	-13.128	-5.006	-12.121
88.099	-8.292	-14.246	-6.670	-13.232	-5.049	-12.219
89.099	-6.417	-11.573	-5.048	-10.717	-3.678	-9.861
89.099	-6.330	-11.569	-4.975	-10.722	-3.619	-9.875
91.099	-5.608	-12.180	-4.314	-11.371	-3.020	-10.563



**Gambar 4.10** Tegangan Memanjang Kiri 31 Tendon



**Gambar 4.11** Tegangan Memanjang Tengah 31 Tendon



**Gambar 4.12** Tegangan Memanjang Kanan 31 Tendon

#### 4.4.10 Perencanaan Penulangan Lentur Box Girder

Diameter tulangan = 25 mm

As tulangan = 490,87 mm<sup>2</sup>

Tebal selimut = 40 mm

$f'_c$  = 55 MPa

$f_y$  = 400 MPa

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{55}}{400} = 0,0047$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85(55)} = 8,556$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}; \phi = 0.85$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$A_{st} = A_{sc} = \rho \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$n = \frac{A_{st}}{A_{stulangan}}$$

## 4.4.10.1 Penulangan Lentur Arah Memanjang

**Tabel 4.22** Penulangan Lentur Box Girder Arah Memanjang

Memanjang		Mu	Mn	tpelat	dx	Rn	$\rho_{perlu}$	$\rho_{pakai}$	Ast	n
		(kNm)	(kNm)	(mm)	(mm)	(MPa)			(mm <sup>2</sup> )	
Pelat atas	Tarik	439.910	517.541	400	347.5	4.286	0.0113	0.0113	3911.695	8
	Tekan	-36.121	42.495	400	347.5	0.352	0.0009	0.0047	1633.25	4
Pelat bawah	Tarik	270.994	318.816	350	297.5	3.602	0.0094	0.0094	2791.158	6
	Tekan	-104.716	123.195	350	297.5	1.392	0.0035	0.0047	1398.25	3
Eksterior girder kiri	Tarik	115.457	135.831	400	347.5	1.125	0.0028	0.0047	1633.25	4
	Tekan	-188.391	221.637	400	347.5	1.835	0.0047	0.0047	1633.25	4
Interior girder kiri	Tarik	208.621	245.437	400	347.5	2.032	0.0052	0.0052	1805.88	4
	Tekan	-217.642	256.050	400	347.5	2.120	0.0054	0.0054	1885.868	4
Interior girder kanan	Tarik	205.045	241.230	400	347.5	1.998	0.0051	0.0051	1774.219	4
	Tekan	-187.017	220.020	400	347.5	1.822	0.0046	0.0047	1633.25	4
Eksterior girder kanan	Tarik	102.315	120.371	400	347.5	0.997	0.0025	0.0047	1633.25	4
	Tekan	-129.209	152.011	400	347.5	1.259	0.0032	0.0047	1633.25	4

#### 4.4.10.2 Penulangan Lentur Arah Melintang

**Tabel 4.23** Penulangan Lentur Box Girder Arah Melintang

Melintang		Mu	Mn	tpelat	dx	Rn	$\rho_{\text{perlu}}$	$\rho_{\text{pakai}}$	Ast	n
		(kNm)	(kNm)	(mm)	(mm)	(MPa)			(mm <sup>2</sup> )	
Pelat atas	Tarik	442.104	520.122	400	347.5	4.307	0.0113	0.0113	3932.243	9
	Tekan	-552.237	649.690	400	347.5	5.380	0.0143	0.0143	4979.259	11
Pelat bawah	Tarik	319.550	375.941	350	297.5	4.248	0.0112	0.0112	3317.428	7
	Tekan	-311.993	367.050	350	297.5	4.147	0.0109	0.0109	3234.94	7

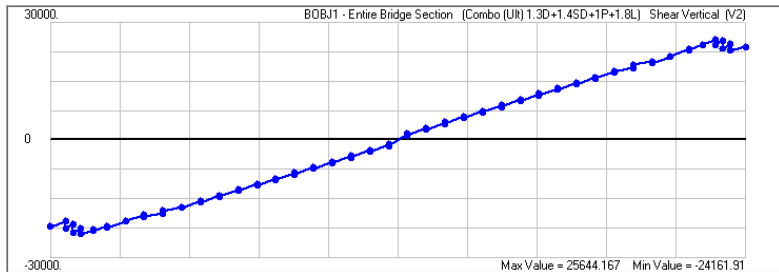
#### 4.4.11 Perencanaan Geser

Gaya geser yang terjadi didapatkan dari hasil analisa program SAP2000 akibat beban kombinasi ultimit (1,3D+1,4SD+1,8L+1P):

**Tabel 4.24** Geser Ultimit Box Girder

Jarak (m)	Vu (kN)	Jarak (m)	Vu (kN)	Jarak (m)	Vu (kN)
0.000	-22158.7	29.546	-10181.3	64.016	11398.6
2.000	-20812.6	32.008	-8397.9	66.478	13185.5
2.000	-22814.4	32.008	-8815.1	66.478	12839.1
3.000	-21541.3	34.470	-6999.7	68.940	14602.2
3.000	-23721.1	34.470	-7367.6	68.940	14304.0
4.000	-22707.9	36.932	-5575.9	71.402	16082.6
4.000	-24161.9	36.932	-5940.5	71.402	15746.5
5.692	-22992.9	39.394	-4109.9	73.865	17475.2
5.692	-23276.1	39.394	-4561.4	73.865	17407.5
7.385	-22112.2	41.856	-2670.2	76.328	18429.5
7.385	-22435.6	41.856	-3017.4	76.328	19239.6
9.846	-20893.4	44.319	-1189.8	78.791	20054.1
9.846	-20800.7	44.319	-1592.7	78.791	19713.0
12.308	-19306.8	46.781	1586.2	81.253	21200.2
12.308	-19652.6	46.781	1184.2	81.253	21460.7
14.771	-18809.8	49.243	3019.7	83.714	23248.6
14.771	-18197.3	49.243	2679.1	83.714	23082.0
17.235	-17195.3	51.705	4576.9	85.407	24396.3
17.235	-17307.4	51.705	4131.3	85.407	24436.2
19.697	-15607.4	54.167	5968.0	87.099	25644.2
19.697	-15956.8	54.167	5608.7	87.099	24438.2
22.159	-14191.9	56.629	7406.9	88.099	25451.4
22.159	-14495.6	56.629	7045.4	88.099	23364.0
24.621	-12741.9	59.091	8867.8	89.099	24637.2
24.621	-13092.5	59.091	8447.1	89.099	22881.7
27.084	-11313.6	61.553	10302.9	91.099	23894.7
27.084	-11692.5	61.553	9978.4		
29.546	-9914.5	64.016	11772.0		





**Gambar 4.13** Geser Ultimit Box Girder

Kekuatan geser batas nominal  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari jumlah kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dan tulangan geser:

$$V_n = V_c + V_s$$

Retak akibat geser pada balok prategang secara umum dibedakan menjadi 2, yaitu:

#### 4.4.11.1 Retak geser pada bagian badan $V_{cw}$

$$V_{cw} = V_t + V_p \quad (\text{persamaan 6.8-14 SNI T-12-2004})$$

$$F_{eff} = 185568199 \text{ N}$$

$$L = 91100 \text{ mm}$$

$$f = 1377,26 \text{ mm}$$

$$A_c = 1,8079 \times 10^7$$

$$d = 3798,55 \text{ mm}$$

$$b_w = 400 \times 4 = 1600 \text{ mm}$$

$$\tan \theta = \frac{f}{\left(\frac{L}{2}\right)} = \frac{1377,26}{\left(\frac{91100}{2}\right)} = 0,0302$$

$$f_{pc} = \frac{F_{eff}}{A_c} = \frac{185568199}{1,8079 \cdot 10^7} = 10,264 \text{ MPa}$$

$$V_p = F \cdot \tan \theta = 185568199 \times 0,0302 = 5604159,61 \text{ N}$$

$$V_t = 0,3 \left( \sqrt{f'_c} + f_{pc} \right) \times b_w \times d$$

$$= 0,3(\sqrt{55} + 10,264) \times 1600 \times 3798,55$$

$$\begin{aligned}
 &= 33085026,15 \text{ N} \\
 V_{cw} &= V_t + V_p = 33085026,15 + 5604159,61 \\
 &= 38689185,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.11.2 Retak geser terlentur $V_{ci}$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} \times b_w \times d \right) + V_d + \left( \frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{7} \times b_w \times d \right) \\
 M_{cr} &= \frac{I x}{y_a} \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} + f_{pe} - f_d \right)
 \end{aligned}$$

Ditinjau pada jarak  $x = 0$  m, dimana:

$$V_d = 24013,89 \text{ kN}$$

$$V_u = 25644,167 \text{ kN}$$

$$M_u = 0 \text{ mm}$$

$$I = 4,7107 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$Y_a = 1847,1 \text{ mm}$$

$$f_d = \frac{M_g}{W} = 0 \text{ MPa}$$

$$f_{pe} = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \cdot e \cdot y}{I} = 10,264 + 12,915 = 23,179 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = \frac{I x}{y_a} \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} + f_{pe} - f_d \right) = 6,006 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left( \frac{\sqrt{55}}{20} \times 1600 \times 378,55 \right) + 24013890 + 0 \\
 &= 24238482,15 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.11.3 Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 25644,167 \text{ kN}$$

$$V_n = V_u / 0,75 = 34192,223 \text{ kN}$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$V_c = 24238,5 \text{ kN}$$

$$V_{smin} = 1/3 \times b_w \times d = 1/3 \times 1600 \times 3798,548 = 2025892 \text{ N}$$

$$V_s = 9953,723 \text{ kN} = 9953723 \text{ N} > V_{smin}$$

Direncanakan tulangan 8 kaki D13

$$A_v = 8 \times 132,73 = 1061,858 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{1061,858 \times 400 \times 3798,548}{9953723} = 162 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan geser 8D13 – 150 mm

#### 4.4.12 Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur

##### 4.4.12.1 Kontrol Momen Nominal

$$M_u = 907065.1 \text{ kNm}$$

$$A_{ps} = 244326,5 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 1600 \text{ mm}$$

$$b = 10000 \text{ mm}$$

$$h_f = 400 \text{ mm}$$

$$d_p = 3798,548 \text{ mm}$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{A_c} = \frac{244326,5}{1,81 \times 10^7} = 0,0135$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{f'_c - 28}{7} \right) 0,05 = 0,657$$

$$\gamma_p = 0,4$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pu} \left( 1 - 0,5 \left( \rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right) \right) \\ &= 1860 \left( 1 - 0,5 \left( 0,0135 \frac{1860}{55} \right) \right) = 1342,55 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$T = C$$

$$T = A_{ps} \times f_{ps} = 244326,5 \times 1342,55 = 328020314 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$a = \frac{T}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{328020314}{0,85 \times 55 \times 16000} = 438,53 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T \left( d_p - \frac{a}{2} \right) = 328020314 \left( 3798,55 - \frac{438,53}{2} \right) \\ &= 11740776881402 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\varphi Mn = 0,9Mn = 1056669919326,18 \text{ Nmm} = 1056670 \text{ kNm}$$

$$\varphi Mn > Mu \dots \text{OK}$$

#### 4.4.12.2 Kontrol Momen Retak

$$F_{eff} = 142525499 \text{ N}$$

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c} = 4,598 \text{ MPa}$$

$$r^2 = \frac{Ix}{A} = 2,61 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$c = 2652,9 \text{ mm}$$

$$e = 1774,95 \text{ mm}$$

$$M1 = F_{eff} \left( e - \frac{r^2}{c} \right) = 1,9296 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$M2 = f_r \frac{Ix}{c} = 8,16 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = M1 + M2 = 4,746 \times 10^{11} \text{ Nmm} = 474609,42 \text{ kNm}$$

$$1,2 M_{cr} = 569531,354 \text{ kNm} < 1056670 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$

#### 4.4.12.3 Kontrol Torsi

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentris. Berikut langkah-langkah perhitungannya:

##### a. Perhitungan Momen Penyebab Torsi

Perhitungan momen penyebab torsi menggunakan bantuan program SAP2000 dengan beban lalu lintas hanya pada lajur dalam dan beban angin dengan kombinasi beban 1,3D+1,4SD+1,8L+1,2W.

$$T_u = 213738.46 \text{ kNm} = 213738460000 \text{ Nmm}$$

##### b. Perhitungan Torsi Ijin

- Perhitungan konstanta torsi
  - Pelat atas

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[ 0,75 + \left( \frac{x_1}{y_1} \right) \right]}$$

dimana,  $x_1$  = tebal pelat atas = 400 mm

$y_1$  = lebar pelat atas = 16000 mm

maka,  $\eta_1 = 0,452$

- Pelat badan

dimana,  $x_1$  = tebal pelat atas = 400 mm

$y_1$  = lebar pelat atas = 3750 mm

maka,  $\eta_1 = 0,409$

- Pelat bawah

dimana,  $x_1$  = tebal pelat atas = 350 mm

$y_1$  = lebar pelat atas = 10000 mm

maka,  $\eta_1 = 0,446$

Konstanta torsi:

$$\begin{aligned} \Sigma \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1 &= (0,452 \times 400^2 \times 16000) = 1157120000 \\ &= (0,409 \times 400^2 \times 3750) = 245400000 \\ &= (0,446 \times 350^2 \times 10000) = \underline{546350000} + \\ &= 1948870000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 6\sqrt{f'c} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \times \left( \frac{F}{A} \right)}{f'c}} \times \Sigma \eta_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \\ &= 6\sqrt{55} \sqrt{1 + \frac{10 \times \left( \frac{318113000}{1,81 \times 10^7} \right)}{55}} \times 1948870000 \\ &= 1,7763 \times 10^{11} \end{aligned}$$

- Torsi Ijin

Tulangan Torsi tidak diperlukan apabila:

$$\frac{T_u}{\phi T_{cr}} < 0,25 \quad (\text{SNI T-12-2002 persamaan.5.4-2})$$

$$\begin{aligned} \text{Tu ijin} &= \phi \times T_{cr} \times 0,25 \\ &= 0,7 \times 1,7763.10^{11} \times 0,25 = 31.084.642.990 \text{ Nmm} \\ \text{Tu ijin} &< \text{Tu} \dots \text{dibutuhkan tulangan torsi} \end{aligned}$$

#### 4.4.12.4 Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi pada kombinasi jembatan tidak boleh lebih dari  $y = L/800 = 113,875 \text{ mm}$  dimana  $L$  adalah panjang bentang yang ditinjau. Dari hasil analisa SAP didapatkan lendutan yang terjadi akibat beban servis 1D+1L+1P adalah 102,043 mm.

### 4.5 Perencanaan Bangunan Bawah

Perencanaan struktur bangunan bawah meliputi perencanaan kolom dan perencanaan pondasi. Untuk menganalisa bangunan bawah terlebih dahulu dilakukan analisa beban gempa sebagai berikut:

#### 4.5.1 Analisa Kondisi Tanah

Data tanah pada lokasi jembatan THP Kenjeran dapat dilihat pada lampiran dan dapat disimpulkan bahwa tanah pada lokasi tersebut termasuk dalam kelas situs tanah lunak (E).

#### 4.5.2 Analisa Beban Gempa

Analisa beban gempa berdasarkan pada peraturan perancangan jembatan terhadap beban gempa RSNI 2833-2013. Berikut adalah data perencanaan gempa untuk jembatan THP Kenjeran:

Jenis bangunan : Jembatan

Kelas situs : Tanah lunak (SE)

Periode (T) : 0,898206 detik

#### 4.5.2.1 Respon Spectrum Rencana

Bersarkan peta gempa **Gambar 3.8**, **3.9**, dan **3.10** dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun didapatkan nilai PGA,  $S_s$ , dan  $S_1$  adalah sebagai berikut:

$$PGA = 0,25$$

$$S_s = 0,45$$

$$S_1 = 0,225$$

Dari hasil interpolasi **Tabel 3.8** didapatkan:

$$F_{PGA} = 1,45$$

$$F_a = 1,86$$

Dan dari **Tabel 3.9** didapatkan:

$$F_v = 3,1$$

$$A_s = F_{PGA} \times PGA = 1,45 \times 0,25 = 0,3625$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s = 1,86 \times 0,45 = 0,837$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 = 3,1 \times 0,225 = 0,6975$$

$$\text{Zona Gempa } (S_{D1} > 0,5) = 4$$

Dimana:

PGA adalah percepatan puncak batuan dasar pada Peta Gempa Indonesia 2010 (**Gambar 3.8**)

$S_s$  adalah parameter respon spectral percepatan gempa untuk periode pendek ( $T = 0,2$  detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (**Gambar 3.9**)

$S_1$  adalah parameter respons spectral percepatan gempa untuk periode 1 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (**Gambar 3.10**)

$F_{PGA}$  adalah faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik

$F_a$  adalah factor amplikasi periode pendek

$F_v$  adalah factor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik

## 4.5.2.2 Koefisien Respons Gempa Elastik

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,6975}{0,837} = 0,833 \text{ detik}$$

$$T_0 = 0,2T_s = 0,2 \times 0,833 = 0,167 \text{ detik}$$

- a. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respons gempa elastic ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan:

$$\begin{aligned} C_{sm} &= (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \\ &= (0,837 - 0,3625) \frac{0,898206}{0,167} + 0,3625 \\ &= 2,920 \end{aligned}$$

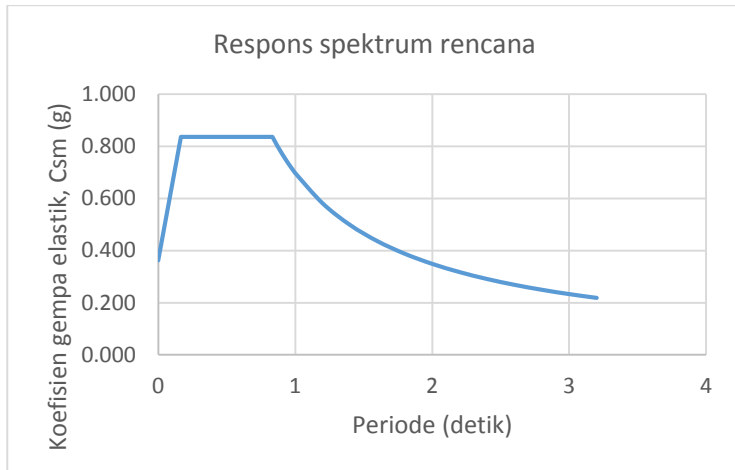
- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , respons spectra percepatan,  $C_{sm}$  sama dengan  $S_{DS}$  yaitu 0,837.

- c. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , koefisien respons gempa elastic  $C_{sm}$  didapatkan dari persamaan:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,6975}{0,898206} = 0,777$$

Berikut grafik hubungan koefisien gempa elastik,  $C_{sm}$  (g) dan periode (detik)





**Gambar 4.14** Respon Spektrum Rencana

#### 4.5.2.3 Faktor Modifikasi Respons (R)

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan factor modifikasi respons ( $R$ ).

Kategori kepentingan = penting

$R = 2,0$

#### 4.5.2.4 Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan dengan formulasi sebagai berikut:

$$W_t = 61896,28 \text{ kN}$$

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t = \frac{0,777}{2} \times 61896,28 = 24032,71 \text{ kN}$$

$$30\% E_Q = 24032,71 \times 0.3 = 7209,814 \text{ kN}$$

### 4.5.3 Kolom Jembatan

Jembatan THP Kenjeran derencanakan menggunakan kolom dengan ketinggian 6,75 m untuk P4.

Pembebanan kolom

- Pembebanan dari bangunan atas dan gaya gempa yang diinput sesuai data yang diperhitungkan di atas.

**Tabel 4.25** Pembebanan dari bangunan atas

Kombinasi	V <sub>x</sub>	P <sub>u</sub>	M <sub>ux</sub>
	(kN)	(kN)	(kNm)
1.4D	82,928	35768.081	-183034
1.2D+1.6L	1692,54	39196,525	-196005
1.2D+1L+1E(X)	1106,387	29192,488	-148418
0.9D+1W	145,494	23287,601	-118538
0.9D-1W	106.025	21162.44	-102914
0.9D+1E(X)	251,512	21711,084	-109011

- Gaya rem  
Dikarenakan perletakan di atas pilar P4 membebaskan jembatan bergerak searah memanjangnya, maka gaya rem diabaikan pada pilar P4, sedangkan pada pilar P1 tetap diperhitungkan.
- Berat sendiri kolom P4  
 Volume kolom =  $10 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 5,175 = 155,25 \text{ m}^3$   
 Berat jenis beton =  $24 \text{ kN/m}^3$   
 Berat kolom =  $3726 \text{ kN}$   
 P<sub>u</sub> =  $3726 \times 1,2 = 4471,2 \text{ kN}$

#### 4.5.3.1 Perencanaan Kolom P4

Data perencanaan kolom P4 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k &= 1,2 \\
 f'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 E_c &= 25743 \text{ MPa} \\
 \beta_1 &= 0,83245
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 E_s &= 200000 \text{ MPa} \\
 b &= 10 \text{ m} \\
 h &= 3 \text{ m} \\
 l &= 5,175 \text{ m} \\
 A &= 3 \times 10^7 \text{ mm}^2 \\
 I_x &= 2,25 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \\
 I_y &= 2,5 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \\
 r &= 866 \text{ mm} = 0.866 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Cek kelangsingan struktur (RSNI T-12-2004 Pasal 5.7.6.2):

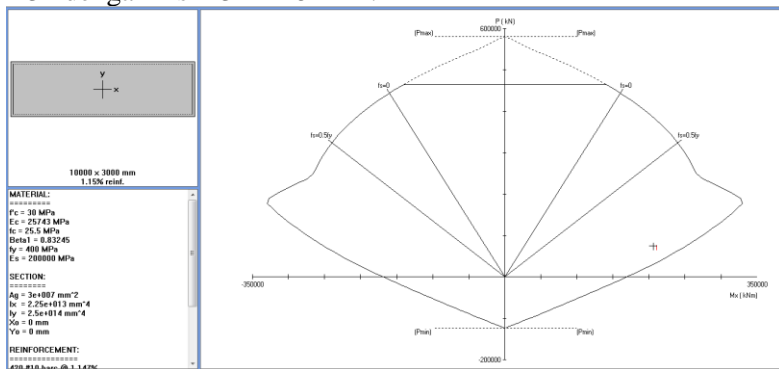
$$\frac{k l u}{r} < 22$$

$$\frac{k l u}{r} = \frac{1,2 \times 5,175}{0.866} = 7,171 < 22$$

Maka termasuk kolom pendek sehingga pengaruh kelangsingan struktur boleh diabaikan.

#### - Tulangan lentur

Sesuai RSNI T-12-2004 Pasal 5.7.8.1 bahwa rasio dari tulangan memanjang kolom harus tidak kurang dari 0,01  $A_g$  dan tidak melebihi 0,08  $A_g$ . Dengan program SPColumn direncanakan tulangan dengan rasio 1,147% sehingga didapatkan tulangan 420 D32 dengan  $A_s = 344128 \text{ mm}^2$ .



**Gambar 4.15** Tulangan Pilar Rencana Menggunakan SPCol

- Tulangan geser

Rekapitulasi gaya yang bekerja pada kolom

$$V_{ux} = 1106,387 \text{ kN}$$

$$P_u = 39196,525 + 4471,2 = 43667,725 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 196005 \text{ kNm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$h = 3000 \text{ mm}$$

$$b = 10000 \text{ mm}$$

$$D_{tul} = 16 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ tul} = 201 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Kapasitas geser

$$V_{cmax} = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w \cdot d$$

$$V_{c \text{ max}} = 30233484,78 \text{ N} = 30233,485 \text{ Kn}$$

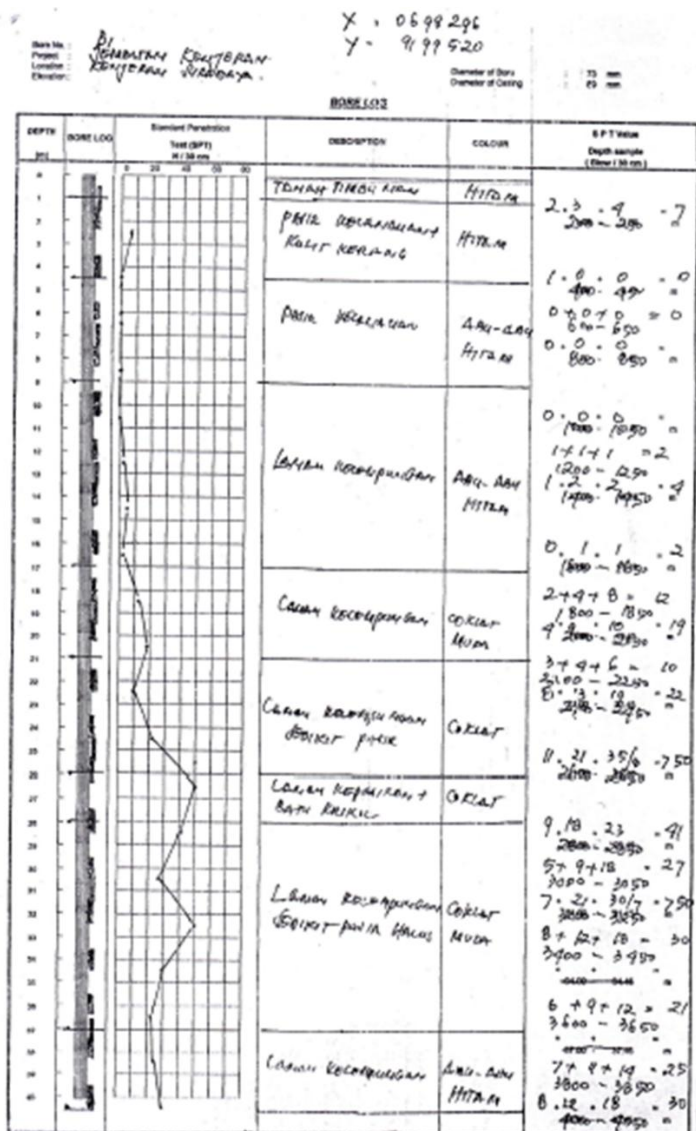
$$\phi V_c = 22675,114 \text{ kN} > V_u$$

Direncanakan tulangan geser minimum.

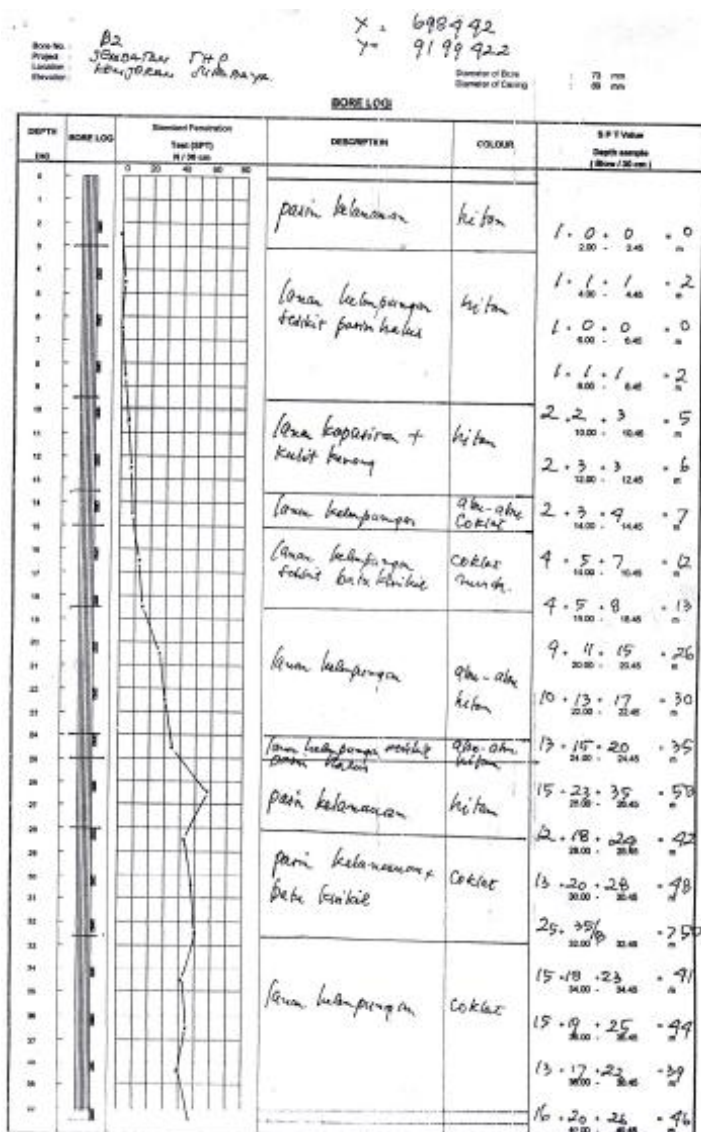
#### 4.5.4 Perencanaan Kebutuhan Pondasi

##### 4.5.4.1 Analisa Data Tanah dan Daya Dukung Pondasi

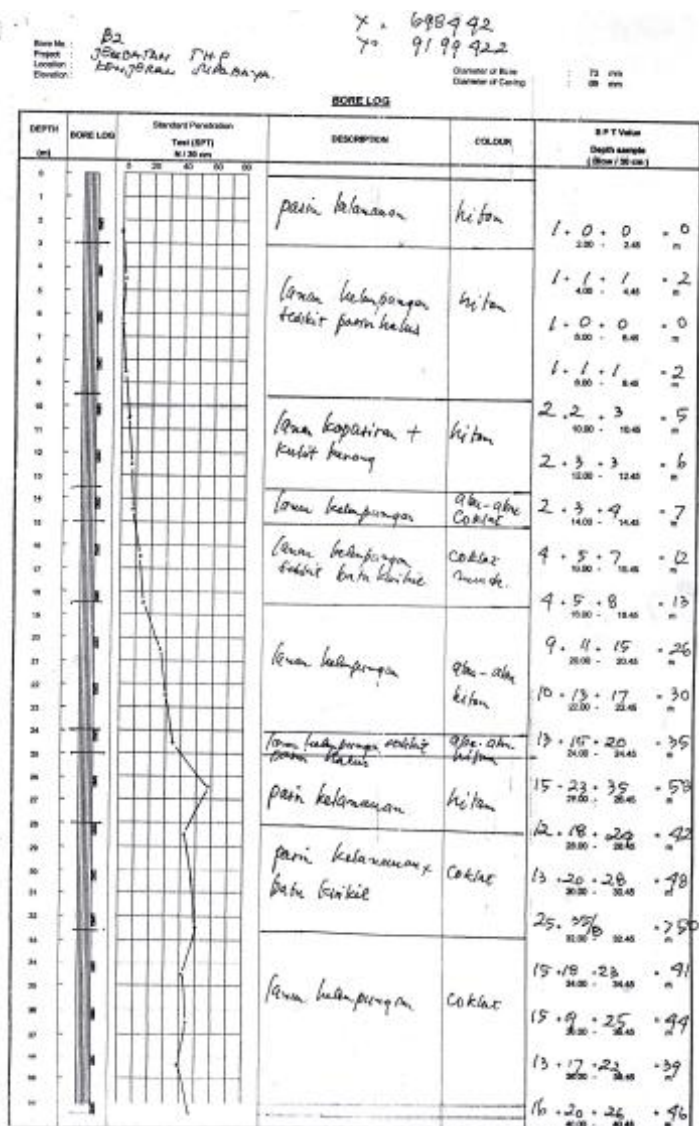
Data tanah asli di lokasi jembatan berupa hasil boring dan Standard Penetration Test (SPT) di titik BM-1, BM-2, dan BM-3 yang dilakukan sedalam 40 m. Perhitungan kebutuhan daya dukung pondasi meliputi kapasitas aksial dari kekuatan daya dukung tanah yang ada dengan menggunakan Metode Luciano Decourt. Tiang pancang yang digunakan adalah Tiang Pancang WIKA PC Spun Pile dengan diameter 600 mm kelas B.



Gambar 4.16 Data Tanah BM-1



Gambar 4.17 Data Tanah BM-2



Gambar 4.18 Data Tanah BM-3

#### 4.5.4.2 Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan daya dukung sebuah tiang pondasi ( $Q_L$ , Ton) dan control kekuatan materialnya. Untuk aspek bearing capacity, perhitungan dilakukan berdasarkan hasil SPT test di titik BM-1, BM-2, dan BM-3.

- Daya dukung tiang pondasi berdasarkan hasil SPT dengan metode Luciano Decourt

- Harga  $N$  koreksi ( $N'$ ) berdasarkan perumusan Terzaghi & Peck sebagai berikut:

$$N' = 15 + 0.5(N - 15)$$

Dimana:

$N$  = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

$N'$  = Harga  $N$  terkoreksi karena  $N$  dibawah muka air tanah

- Metode Luciano Decourt:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_p$  = Daya dukung pada dasar pondasi

$Q_s$  = Daya dukung akibat lekatan lateral

$$Q_p = \alpha q_p A_p = \alpha (N_p K) A_p$$

Dimana :

$\check{N}_p$  = Harga rata-rata SPT disekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi ( $B$  = diameter

$$\text{pondasi}) = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}.$$

$K$  = Koefisien karakteristik tanah:

12 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung

20 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berlempung

25 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berpasir

40 t/m<sup>2</sup>, untuk pasir

$A_p$  = Luas penampang dasar tiang



$q_p$  = Tegangan diujung tiang  
 $\alpha$  = Base coefficient = 1,00 untuk driven pile (tiang pancang)

$$Q_s = \beta q_s A_s = \beta (N_s / 3 + 1) A_s$$

Dimana :

$q_s$  = Tegangan akibat lekatan lateral dalam  $t/m^2$

$N_s$  = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan :  $3 \leq N \leq 50$

$A_p$  = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

$\beta$  = Shaft coefficient = 1,00 untuk driven pile

**Tabel 4.26** Nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  untuk tiang pondasi

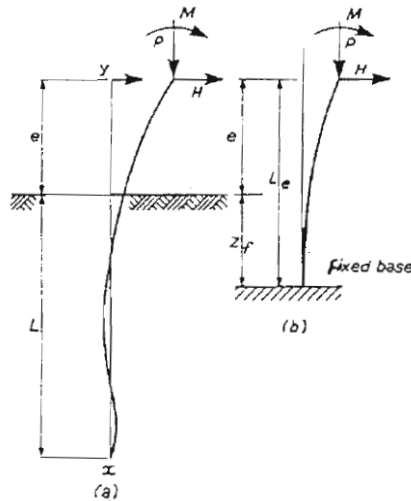
Pile/Soil	Clay		Intermediate Soil		Sands	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
1. Driven Pile	1	1	1	1	1	1
2. Bored Pile	0,85	0,80	0,60	0,65	0,50	0,50
3. Injected Pile	1	3	1	3	1	3

(Sumber: Decourt & Quaresma, 1978 & Decout et al, 1996)

- Kekuatan Material Tiang Pondasi

Letak titik jepit tanah terhadap tiang pondasi ( $Z_f$ ), dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$Z_f = 1,8 T$  untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil*, atau yang mempunyai kenaikan linier harga modulus.



**Gambar 4.19** Letak Jepit Tiang Pondasi

Harga-harga  $T$  dicari dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Stiffness factor } T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \text{ (dalam satuan panjang).}$$

Dimana:

Harga-harga  $n_h$  untuk *soft normally-consolidated clays* = 350 s/d 700  $\text{KN/m}^3$  dan *soft organic silts* = 150  $\text{KN/m}^3$ .

$E$  = modulus elastisitas tiang

$I$  = momen inersia

Bila dikaitkan dengan  $L_e$  dan kekuatan struktur tiang, maka besarnya gaya  $P$  aksial maksimum ( $P_{\text{kritis}}$ ) terhadap “*buckling*” adalah:

$$\text{Fixed \& translating headed conditions: } P_{cr} = \frac{\pi^2(EI)}{(e + Z_f)^2}$$

Gaya horisontal batas atau maksimum yang bekerja di ujung atas sebuah tiang:

$$M_{\max} = \sigma \times W$$

$$M_{\max} = H(e + 1.5d + 0.5f)$$

$$f = \frac{H}{9.Cu.d}$$

Dimana:

$H_u$  = Ultimate lateral resistance

$H$  = Lateral load

$L$  = Kedalaman tiang pondasi dari muka tanah

$d$  = Diameter tiang pondasi

$e$  = Jarak antara lateral load ( $H$ ) bekerja dengan muka tanah

$C_u$  = Undrained cohesion

$f$  = Posisi  $M_{\max}$  dari muka tanah

$\sigma$  = Tegangan beton

$W$  = Modulus of section

Besarnya  $H_u$  yang bekerja pada sebuah tiang panjang untuk Fixed-Headed Pile dapat disederhanakan sebagai berikut (Tomlinson) :

$$H_u = \frac{2Mu}{(e + Zf)}$$

Defleksi horisontal yang terjadi akibat lateral loads untuk *fixed-headed pile* dicari dengan persamaan:

$$Y = \frac{H(e + Zf)^3}{12EI}$$

- Hasil Perhitungan

**Tabel 4.27** N-SPT BM-1

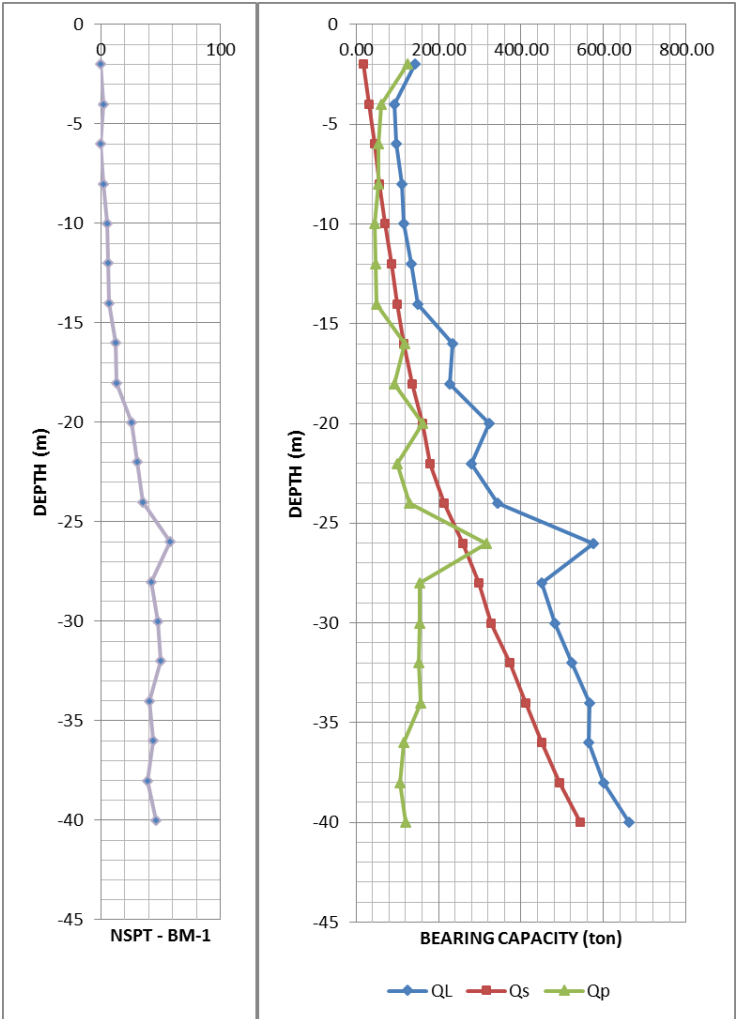
BEARING CAPACITY BM - 1													
H (m)	N	N'	$\alpha$	$\beta$	K	Ap ( m2)	As ( m2)	Np	Ns	Qp (ton)	Qs (ton)	QL (ton)	
2	7	11	1	1	40	0.2827	3.770	11.00	11.00	124.41	17.59	142.00	
4	0	7.5	1	1	25	0.2827	7.540	8.67	9.25	61.26	30.79	92.05	
6	0	7.5	1	1	25	0.2827	11.310	7.50	8.67	53.01	43.98	97.00	
8	0	7.5	1	1	25	0.2827	15.080	7.50	8.38	53.01	57.18	110.19	
10	0	7.5	1	1	20	0.2827	18.850	7.83	8.20	44.30	70.37	114.67	
12	2	8.5	1	1	20	0.2827	22.619	8.50	8.25	48.07	84.82	132.89	
14	4	9.5	1	1	20	0.2827	26.389	8.83	8.43	49.95	100.53	150.48	
16	2	8.5	1	1	40	0.2827	30.159	10.50	8.44	118.75	114.98	233.73	
18	12	13.5	1	1	25	0.2827	33.929	13.00	9.00	91.89	135.72	227.61	
20	19	17	1	1	40	0.2827	37.699	14.33	9.80	162.11	160.85	322.96	
22	10	12.5	1	1	20	0.2827	41.469	17.67	10.05	99.90	180.33	280.23	
24	32	23.5	1	1	20	0.2827	45.239	22.83	11.17	129.12	213.63	342.75	
26	50	32.5	1	1	40	0.2827	49.009	28.00	12.81	316.67	258.24	574.91	
28	41	28	1	1	20	0.2827	52.779	27.17	13.89	153.62	297.19	450.82	
30	27	21	1	1	20	0.2827	56.549	27.17	14.37	153.62	327.35	480.98	
32	50	32.5	1	1	20	0.2827	60.319	26.75	15.50	151.27	371.96	523.23	
34	30	22.5	1	1	20	0.2827	64.088	27.50	16.22	155.51	410.57	566.08	
36	21	18	1	1	20	0.2827	67.858	20.25	16.88	114.51	449.56	564.07	
38	25	20	1	1	20	0.2827	71.628	19.00	17.66	107.44	493.19	600.63	
40	30	22.5	1	1	20	0.2827	75.398	21.25	18.59	120.17	542.71	662.88	

**Tabel 4.28** N-SPT BM-2

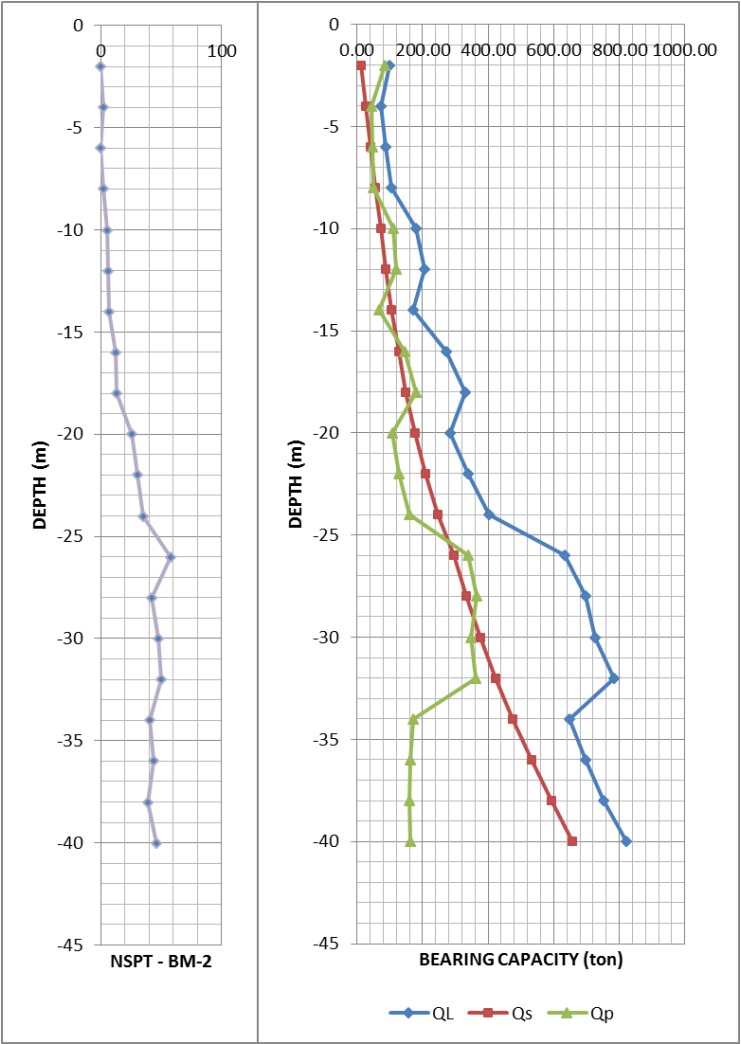
N SPT HASIL BORING BM - 2												
H (m)	N	N'	$\alpha$	$\beta$	K	Ap ( m2)	As ( m2)	Np	Ns	Qp (ton)	Qs (ton)	QL (ton)
2	0	7.5	1	1	40	0.2827	3.770	7.50	7.50	84.82	13.19	98.02
4	2	8.5	1	1	20	0.2827	7.540	7.83	8.00	44.30	27.65	71.94
6	0	7.5	1	1	20	0.2827	11.310	8.17	7.83	46.18	40.84	87.02
8	2	8.5	1	1	20	0.2827	15.080	8.67	8.00	49.01	55.29	104.30
10	5	10	1	1	40	0.2827	18.850	9.67	8.40	109.33	71.63	180.96
12	6	10.5	1	1	40	0.2827	22.619	10.50	8.75	118.75	88.59	207.35
14	7	11	1	1	20	0.2827	26.389	11.67	9.07	65.97	106.19	172.16
16	12	13.5	1	1	40	0.2827	30.159	12.83	9.63	145.14	126.92	272.06
18	13	14	1	1	40	0.2827	33.929	16.00	10.11	180.96	148.28	329.24
20	26	20.5	1	1	20	0.2827	37.699	19.00	11.15	107.44	177.81	285.26
22	30	22.5	1	1	20	0.2827	41.469	22.67	12.18	128.18	209.86	338.04
24	35	25	1	1	20	0.2827	45.239	28.00	13.25	158.34	245.04	403.38
26	58	36.5	1	1	40	0.2827	49.009	30.00	15.04	339.29	294.68	633.97
28	42	28.5	1	1	40	0.2827	52.779	32.17	16.00	363.80	334.27	698.06
30	48	31.5	1	1	40	0.2827	56.549	30.83	17.03	348.72	377.62	726.34
32	50	32.5	1	1	40	0.2827	60.319	32.00	18.00	361.91	422.23	784.14
34	41	28	1	1	20	0.2827	64.088	30.25	19.28	171.06	475.99	647.05
36	44	29.5	1	1	20	0.2827	67.858	28.75	20.59	162.58	533.68	696.26
38	39	27	1	1	20	0.2827	71.628	28.25	21.81	159.75	592.43	752.18
40	46	30.5	1	1	20	0.2827	75.398	28.75	23.19	162.58	658.16	820.74

**Tabel 4.29** N-SPT BM-3

N SPT HASIL BORING BM - 3												
H (m)	N	N'	$\alpha$	$\beta$	K	Ap ( m2)	As ( m2)	Np	Ns	Qp (ton)	Qs (ton)	QL (ton)
2	1	8	1	1	40	0.2827	3.770	8.00	8.00	90.48	13.82	104.30
4	1	8	1	1	20	0.2827	7.540	7.83	8.00	44.30	27.65	71.94
6	0	7.5	1	1	20	0.2827	11.310	7.83	7.83	44.30	40.84	85.14
8	1	8	1	1	20	0.2827	15.080	8.17	7.88	46.18	54.66	100.85
10	3	9	1	1	40	0.2827	18.850	9.00	8.10	101.79	69.74	171.53
12	5	10	1	1	40	0.2827	22.619	10.17	8.42	114.98	86.08	201.06
14	8	11.5	1	1	20	0.2827	26.389	11.50	8.86	65.03	104.30	169.33
16	11	13	1	1	20	0.2827	30.159	13.00	9.38	73.51	124.41	197.92
18	14	14.5	1	1	20	0.2827	33.929	14.00	9.94	79.17	146.40	225.57
20	14	14.5	1	1	20	0.2827	37.699	14.67	10.40	82.94	168.39	251.33
22	15	15	1	1	20	0.2827	41.469	15.33	10.82	86.71	191.01	277.72
24	18	16.5	1	1	20	0.2827	45.239	17.33	11.29	98.02	215.51	313.53
26	26	20.5	1	1	40	0.2827	49.009	19.33	12.00	218.65	245.04	463.70
28	27	21	1	1	40	0.2827	52.779	20.50	12.64	231.85	275.20	507.05
30	25	20	1	1	40	0.2827	56.549	24.50	13.13	277.09	304.11	581.19
32	50	32.5	1	1	40	0.2827	60.319	26.25	14.34	296.88	348.72	645.60
34	50	32.5	1	1	40	0.2827	64.088	32.50	15.88	367.57	403.22	770.79
36	50	32.5	1	1	40	0.2827	67.858	32.50	17.41	367.57	461.58	829.14
38	50	32.5	1	1	40	0.2827	71.628	32.50	18.97	367.57	524.53	892.09
40	50	32.5	1	1	40	0.2827	75.398	32.50	20.50	367.57	590.62	958.19

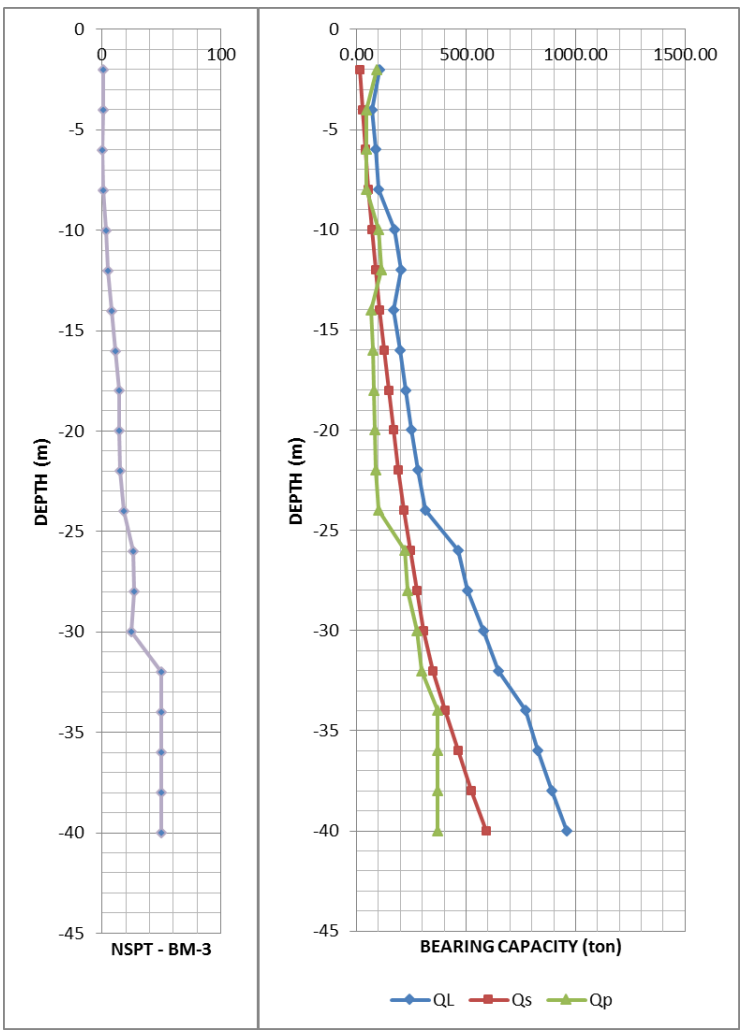


**Gambar 4.20** Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-1



**Gambar 4.21** Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-2





**Gambar 4.22** Grafik N-SPT dan Bearing Capacity BM-3

4.5.4.3 Daya Dukung Pondasi Tunggal

Untuk pondasi pilar jembatan THP Kenjeran direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang produk PT. WIKA beton.

Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

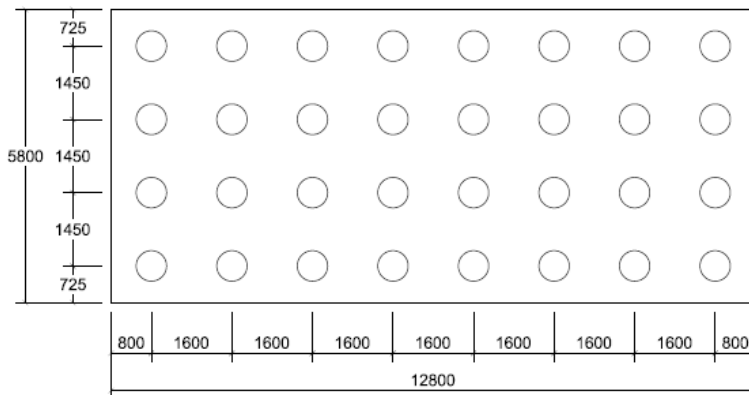
Diameter	= 600 mm
Tebal	= 100 mm
Type	= A3
Allowable axial	= 243,20 ton
Bending momen crack	= 22 ton.m
Bending momen ultimate	= 33 ton.m

Dari hasil perhitungan daya dukung pondasi didapatkan bahwa untuk kedalaman 30 m daya dukung tiang pondasi friction end bearing adalah 726,34 ton (diameter 600 mm), sehingga  $Q_{ijin} = 726,34/3 = 242 \text{ ton} < 243,2 \text{ ton}$  (allowable axial)

Karena daya dukung ijin tanah terhadap pondasi lebih kecil daripada beban aksial ijin tiang pancang, maka digunakan beban aksial ijin 1 tiang = 242 ton.

#### 4.5.4.4 Daya Dukung Pondasi Kelompok

Direncanakan menggunakan 32 tiang pancang dengan konfigurasi sebagai berikut:



**Gambar 4.23** Denah tiang pondasi

- Efisiensi tiang pancang kelompok

$$Q_{Lgroup} = Q_{L1tiang} \times n \times \eta$$

$$\eta = 1 - \frac{\arctan(D/S)}{90^\circ} \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \text{ converse Labarre}$$

Dimana:

D = Diameter tiang pancang

S = Jarak antar tiang

m = Jumlah tiang pancang dalam 1 baris = 8

n = Jumlah baris tiang pancang = 4

$$\eta = 1 - \frac{\arctan(600/1500)}{90^\circ} \times \left( 2 - \frac{1}{8} - \frac{1}{4} \right) = 1,625$$

$$\begin{aligned} Q_{Lgroup} &= Q_{L1tiang} \times n \times \eta \\ &= 242 \times 32 \times 1,625 = 12584 \text{ ton} \\ &= 12584000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban vertical maksimum yang bekerja:

$$P = 43667,725 \text{ kN} = 4366772,5 \text{ kg}$$

Berat pondasi :

n = 32 (jumlah pondasi)

L = 30 m (kedalaman pondasi)

Ø = 0,6 m (diameter pondasi)

t = 0,1 m (tebal pondasi)

$$A_p = \frac{3,14 \times (60^2 - 40^2)}{4} = 1570 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W_p &= n \times L \times A_p \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 32 \times 30 \times 0,157 \times 2400 \\ &= 361728 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u = P + W_p$$

$$= 436672,5 + 361728$$

$$= 4728500,5 \text{ kg} < Q_{Lgroup} = 12584000 \text{ kg}$$

#### 4.5.4.5 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang (Pmax)

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan:

$$P_{\max/\min} = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x \cdot X_{\max}}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_y \cdot Y_{\max}}{\Sigma Y^2}$$

$$X_{\max} = 5,6 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 2,175 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma X^2 &= 2 * ((4 * 5,6^2) + (4 * 4^2) + (4 * 2,4^2) + (4 * 0,8^2)) \\ &= 430,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\Sigma Y^2 = 2 * ((8 * 2,175^2) + (8 * 0,725^2)) = 84,1 \text{ m}^2$$

Kontrol terhadap beban servis:

$$P = 43667,725 \text{ kN}$$

$$M_x = 196005 \text{ kNm}$$

$$P_{\frac{\max}{\min}} = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x \cdot X_{\max}}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_y \cdot Y_{\max}}{\Sigma Y^2}$$

$$P_{\frac{\max}{\min}} = \frac{43667,725}{32} \pm \frac{196005 \times 5,6}{430,08} \pm 0$$

$$P_{\max} = 3916,765 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = 1187,532 \text{ kN}$$

$$n \times P_{\max} = 32 \times 3916,765 = 125336,5 \text{ kN}$$

#### 4.5.4.6 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Horisontal

$$\text{Jumlah tiang} = 32$$

$$H_{\max} = 1106,387 \text{ kN}$$

$$H \text{ 1 tiang} = 34,575 \text{ kN}$$

$$n_h (\text{soil modulus of elasticity coefficient}) = 350 \text{ kN/m}^3 = 0,35 \text{ kg/cm}^3$$

$$E = 33234,02 \text{ MPa}$$

$$I = 510508 \text{ cm}^4 = 0,005105 \text{ m}^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = 3,444 \text{ m}$$

$$Z_f = 1,8 T = 6,2 \text{ m}$$

$$M\text{-crack tiang} = 22 \text{ ton.m}$$

$$H_u = \frac{2Mu}{(e + Z_f)} = 69,551 \text{ kN}$$

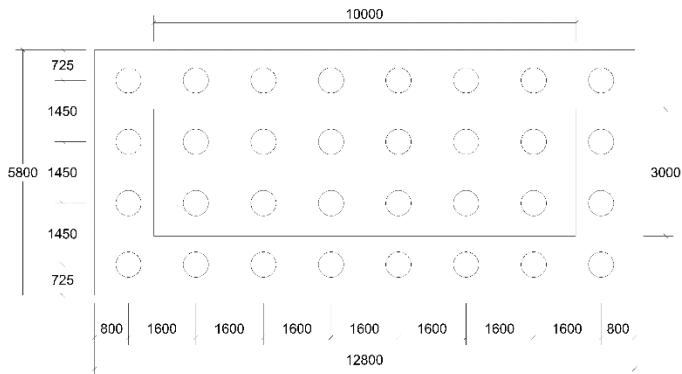
$$\text{OVR } 150\%$$

$$H_u = 104,33 \text{ kN}$$

$$H_{\max} 1 \text{ tiang} = 34,575 \text{ kN} < H_u \dots\dots (\text{OK})$$

$$SF = \frac{104,33}{34,575} = 3,017$$

#### 4.5.5 Perencanaan Pile Cap



**Gambar 4.24** Denah Pile Cap

$$P_u = 43667,725 \text{ kN}$$

$$P_{\max} (1 \text{ tiang}) = 3916,765 \text{ kN}$$

$$\Sigma \text{ tiang pancang tiap group} = 32$$

$$\text{Dimensi kolom} = 10 \times 3 \text{ m}^2$$

$$\text{Dimensi pile cap} = 12,8 \times 5,8 \times 1 \text{ m}^3$$

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 55 MPa  
 Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa  
 Diameter tulangan ( $D$ ) = 32 mm  
 Diameter sengkang = 16 mm  
 Selimut beton = 75 mm  
 $d = 1000 - 75 - \frac{1}{2} \times 32 - 16 = 893 \text{ mm}$

#### 4.5.5.1 Penulangan Pile Cap

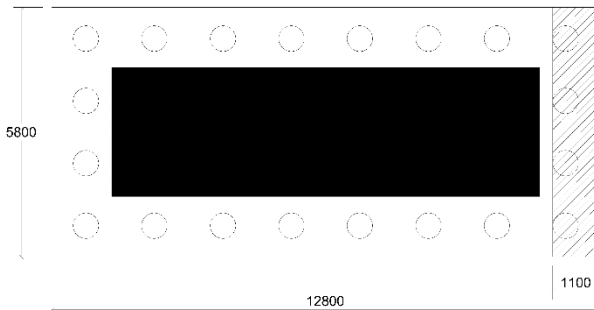
Untuk penulangan lentur, pile cap dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri pile cap. Perhitungan gaya dalam pada pile cap didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

Berat pile cap ( $W_g$ ) =  $24 \times 12,8 \times 5,8 \times 1 = 1781,76 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 P_n, \text{Pile} &= \frac{P_u + W_g(\text{pile cap})}{n \text{ pile}} = \frac{43667,72 + 1781,76}{32} \\
 &= 1420,296 \text{ kN} < P_{\max} (1 \text{ tiang}) \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

#### Desain untuk Geser

##### *One-way Shear*



**Gambar 4.25** Critical Section

$$\begin{aligned}
 P_u, \text{Pile} &= \frac{P_u + 1,2W_g(\text{pile cap})}{n \text{ pile}} = \frac{43667,72 + 2138,112}{32} \\
 &= 1431,432 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_{u, reduce} = \frac{a}{\phi} P_{u, pile} = \frac{600}{600} 1431,432 = 1431,432 \text{ kN}$$

Pada daerah yang kritis gaya dari dua pile (reduced) dan berat sendiri pile cap. Sehingga gaya geser pada one-way shear adalah:

$$\begin{aligned} V_u &= 2 P_{u, reduce} - \text{berat pile cap} \\ &= 2 (1431,432) - (24 \times 5,8 \times 1 \times 1,1) \\ &= 2709,745 \text{ kN} \end{aligned}$$

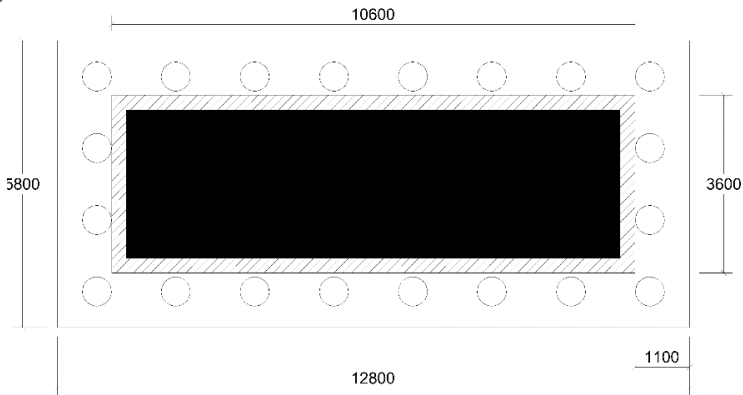
Kapasitas geser beton:

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 (f'_c)^{0,5} b \text{ pile cap } d \\ &= 0,75 (55)^{0,5} 5800 \times 893 \\ &= 28808593,83 \text{ N} = 28808,594 \text{ kN} > V_u = 2709,745 \text{ kN} \end{aligned}$$

(OK)

### ***Punching Shear***

Bagian geser adalah pada  $d/2$  dari muka kolom, seperti pada gambar dibawah.



**Gambar 4.26** Critical Punching Surface

$$\begin{aligned} a_1 &= 3,6 \text{ m} \\ b_1 &= 10,6 \text{ m} \\ U &= 2 (a_1 + b_1) = 28,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada SNI tidak memberikan prosedur eksplisit untuk memperhitungkan *punching load* pada pile cap. Sehingga punching load dapat diasumsikan sama dengan beban kolom dikurang berat dari bagian pile yang terletak pada  $d/2$  ( $600/2=300$  mm). Punching Load bisa diperhitungkan sebagai berikut:

$$\lambda = 0,375$$

$$\beta = 1$$

$$\begin{aligned} P_{u,punch} &= P_u + W_u - P_{pile(dalam\ d/2)} \\ &= P_u + W_u - (n \cdot \lambda \cdot P_{u,pile}) \\ &= 43667,725 + (1,2 \times 24 \times 10,6 \times 3,6 \times 1) - (32 \times 0,375 \\ &\quad \times 1431,432) \\ &= 27589,549 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan geser pada Punching area:

$$\begin{aligned} \tau_u &= P_{u,punch} / U \cdot d \\ &= 27589549 / 28400 \times 893 = 1,088 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d = 62694564,36 \text{ N}$$

Kapasitas geser beton:

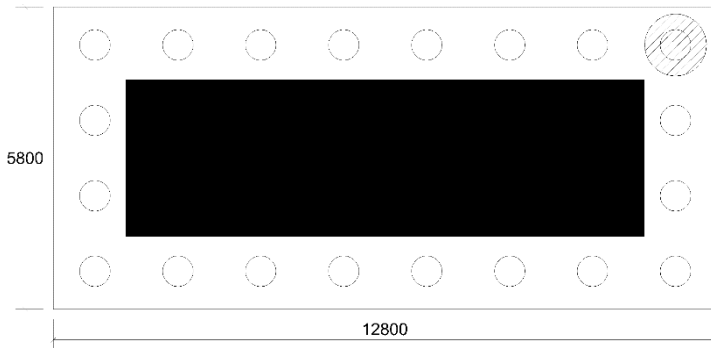
$$V_c = 62694564,36 \text{ N} > P_{u,punch} = 27589549 \text{ N (OK)}$$

$$\begin{aligned} \tau_c &= 0,33 \lambda (f'_c)^{0.5} \\ &= 0,33 \cdot 1 \cdot (55)^{0.5} \\ &= 2,45 \text{ MPa} > \tau_u = 0,321 \text{ MPa (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga ketebalan pile cap memenuhi persyaratan untuk punching shear.



### *Punching Shear for individual pile*



**Gambar 4.27** Critical Punching Pile

$$P_{u,pile} = 1431,432 \text{ kN}$$

$$U = 3,77 \text{ m}$$

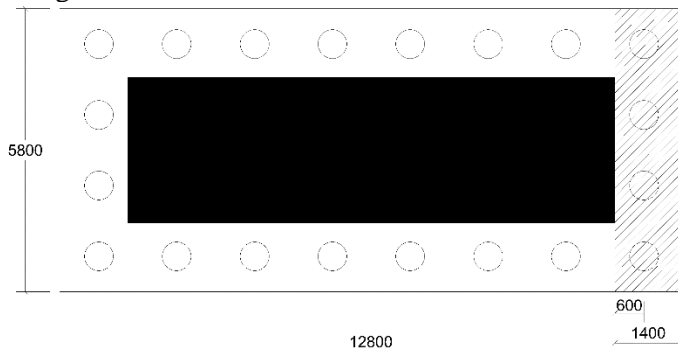
Tegangan geser ultimate:

$$\tau_u = P_{u,pile} / U \cdot d = 2995575 / 3769,91 \times 893 = 0,425 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 0,425 \text{ MPa} < \tau_c = 2,45 \text{ MPa (OK)}$$

### **Desain untuk Lentur**

Penulangan Arah X



**Gambar 4.28** Bagian Kritis untuk Desain Lentur X

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= 4 \cdot P_u \cdot \text{pile} \cdot X - W_u \cdot X \\
 &= 4 (1431,432) \cdot 0,6 - (1,2 \times 24 \times 12,8 \times 1,4 \times 1,4/2) \\
 &= 3074,17 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{55}}{400} = 0,004635$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85(55)} = 8,556$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}; \phi = 0.85$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{3074,17}{0.85} = 3616,67 \text{ kNm} \\
 &= 3616670118 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3616670118}{12800 \cdot 893^2} = 0,354 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{8,556} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,556 \times 0354}{400}} \right) \\
 &= 0,0009
 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0047$$

Tulangan dibutuhkan :

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0047 \times 12800 \times 893 = 53722,88 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 70D32 ( $A_s = 56297,34 \text{ mm}^2$ )

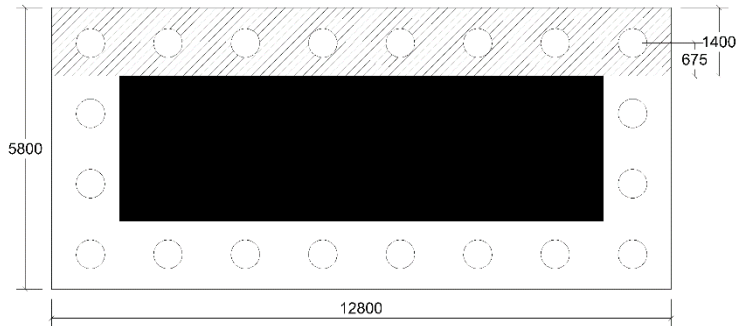
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{56297,34 \cdot 400}{0,85 \cdot 55 \cdot 12800} = 37,632 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{37,632}{0,657} = 57,278 \text{ mm}$$

$$\epsilon t = 0,003 \left( \frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left( \frac{893}{57,278} - 1 \right) = 0,044$$

$0,004 < \epsilon t < 0,005$  sehingga nilai  $\phi$  sebesar 0,9 direncanakan 0.85.

### Penulangan Arah Y



Bagian Kritis untuk Desain Lentur Y

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 8. \text{Pu, pile. Y} - W_u Y \\ &= 8. (1431,432). 0,675 - (1,2 \times 24 \times 5,8 \times 1,4 \times 1,4/2) \\ &= 7566,034 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}; \phi = 0.85$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7566033600}{0.85} = 8901216000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{8901216000}{5800 \cdot 893^2} = 1,925 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{8,556} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,556 \times 1,925}{400}} \right)$$

$$= 0,0049$$

$$\rho_{pakai} = 0,0049$$

Tulangan dibutuhkan :

$$A_{S_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0049 \times 5800 \times 893 = 25461,317 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 35 D32 ( $A_s = 56297,34 \text{ mm}^2$ )

Direncanakan tulangan tusuk konde (*auxiliary steel bar*) dengan diameter 19 mm sedalam sepanjang  $40D = 750 \text{ mm}$ .

## BAB V

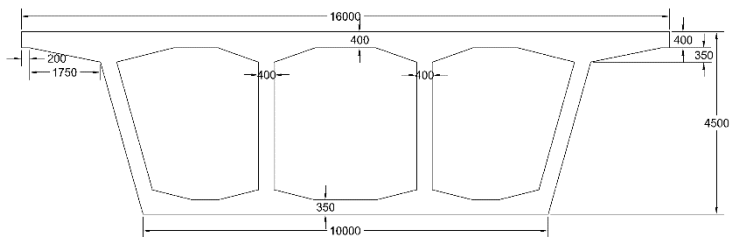
### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam perencanaan modifikasi jembatan THP Kenjeran dengan Struktur Box Girder Pratekan dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- Jembatan THP Kenjeran direncanakan sepanjang 91,1 m dari pada bagian P1-P4 dengan jari-jari lengkung arah horizontal 140 m menggunakan penampang box girder trapesium beton dengan mutu 55 MPa dengan tinggi box 4,5 m, lebar jembatan 16 m dengan data penampang sebagai berikut:

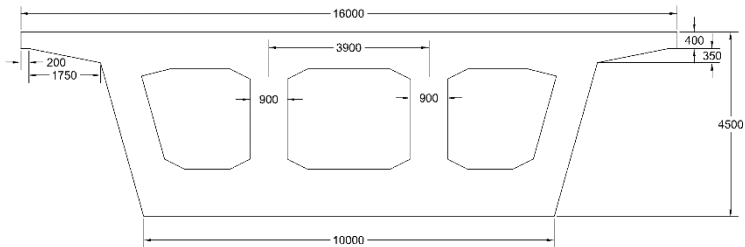
Penampang lapangan:



Gambar 4.3 Desain Penampang Lapangan

A	=	18.079	m <sup>2</sup>	=	1.81E+07	mm <sup>2</sup>
h	=	4.500	m	=	4500.0	mm
Ya	=	1.847	m	=	1847.1	mm
Yb	=	2.653	m	=	2652.9	mm
Xka	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Xki	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Ix	=	47.107	m <sup>4</sup>	=	4.71E+13	mm <sup>4</sup>
Iy	=	309.987	m <sup>4</sup>	=	3.10E+14	mm <sup>4</sup>

### Penampang tumpuan:



Gambar 4.4 Desain Penampang Tumpuan

#### Data Penampang:

A	=	32.675	m <sup>2</sup>	=	3.27E+07	mm <sup>2</sup>
h	=	4.500	m	=	4500.0	mm
Ya	=	2.024	m	=	2023.6	mm
Yb	=	2.476	m	=	2476.4	mm
Xka	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Xki	=	8.000	m	=	8000.0	mm
Ix	=	80.153	m <sup>4</sup>	=	8.02E+13	mm <sup>4</sup>
Iy	=	472.722	m <sup>4</sup>	=	4.73E+14	mm <sup>4</sup>

- Pembebanan Jembatan THP Kenjeran sesuai RSNI 02-2004.
- Tendon yang direncanakan adalah baja prategang dengan tegangan putus 1860 MPa unit 6-55 sejumlah 31 buah ( $F_o = 244327$  kN) dengan angkur hidup tipe 6-55 di kedua ujungnya dan telah memenuhi kriteria tegangan ijin sebagai berikut:

$\sigma$ ijin saat transfer:

- Batas atas = 0,000 MPa (Tarik)
- Batas bawah = -31,35 MPa (Tekan)

$\sigma$ ijin saat servis:

- Batas atas = 0,000 MPa (Tarik)
- Batas bawah = -23,5125 MPa (Tekan)

- Kolom pilar direncanakan dengan dimensi  $10 \times 3 \times 5,175$  m<sup>3</sup> dengan rasio tulangan 1,147% didapatkan tulangan lentur sebanyak 420 D32 dengan  $A_s = 344128$  mm<sup>2</sup> dan tulangan

- geser minimum.
- Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang tipe A3 dengan diameter 600 mm dengan beban aksial ijin 242 ton dan direncanakan sejumlah 32 tiang per pilar.
  - Pile cap direncanakan dengan dimensi  $12,8 \times 5,8 \times 1 \text{ m}^3$

## **5.2.Saran**

- Dibutuhkan referensi atau peraturan di Indonesia untuk merencanakan jembatan dengan lengkung horisontal terutama untuk struktur pratekan.
- Untuk penelitian selanjutnya dapat meneliti lebih detail mengenai tegangan yang terjadi pada penampang akibat gaya prategang pada jembatan dengan lengkung horizontal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

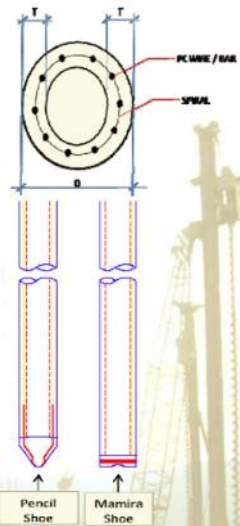
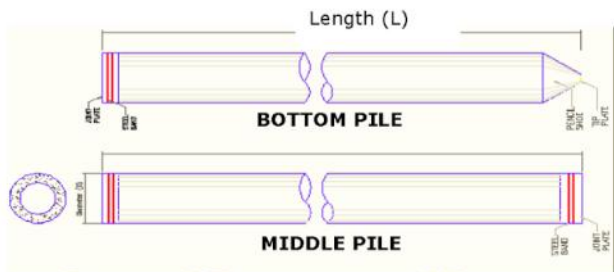


## DAFTAR PUSTAKA

- Hadipratomo, Winarno. 1988. *Struktur Beton Prategang - Teori dan Prinsip Desain*. Bandung: Nova.
- Kusumo, Satrio Anggoro. n.d. "Modifikasi Jembatan Tinalun Menggunakan Box Girder Prestressed Segmental Non-Prismatis dan Sistem Kantilever." *Jurnal Tugas Akhir ITS*.
- Lin, T. Y. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Binarupa Aksara Jakarta.
- Meyer, C. 1970. *Analysis and Design of Curved Box Girder Bridges*. Berkeley: University of California.
- Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang - Suatu Pendekatan Mendasar Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Nutt, Redfield, and Valentine. 2008. *Development of Design Specifications and Commentary for Horizontally Curved Concrete Box Girder Bridges*. Washington, D. C.: Transportation Research Board.
- Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (RSNI 2833-2013)*. Badan Standarisasi Nasional. 2013.
- Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T 12-2004)*. Badan Standarisasi Nasional. 2004.
- Post-Tensioned Box Girder Design Manual*. Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation. 2015.
- Standar Pembebanan untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)*. Badan Standarisasi Nasional. 2005.
- Sudarmono. 2002. *Struktur Beton Prategang Edisi 3*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.
- Wahjudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Shape and Dimension



## Classification

Outside Diameter D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (kg/m)	Length L (M)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50
800	120	A1	2564	641	6 - 24	40.70	63.60	415.00
		A2				46.20	84.40	406.20
		A3				51.00	97.80	398.20
		B				55.70	108.20	390.80
		C				70.60	129.80	367.60
1000	140	A1	3872	946	6 - 24	75.00	117.90	614.00
		A2				82.30	139.80	604.80
		A3				93.30	170.90	590.60
		B				105.70	199.70	575.00
		C				123.60	229.90	552.90
1200	150	A1	4948	1237	6 - 24	120.00	180.00	802.40
		A2				130.00	195.00	794.00
		A3				145.00	217.50	778.10
		B				170.00	306.00	751.50
		C				200.00	400.00	721.10

## STRAND PROPERTIES – TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180-205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	x 10 <sup>3</sup>

## TENDON PROPERTIES

STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
5-7	4	736	51
	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
	12	2210	69
5-19	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
	20	3680	90
5-22	21	3860	90
	22	4050	90
5-27	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
	27	4970	96
	28	5150	105
5-31	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
5-37	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
	37	6810	115
	38	6990	118
5-42	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
	42	7730	118
	43	7910	127
	44	8100	127
5-48	45	8280	127
	46	8460	127
	47	8650	127
	48	8830	127
	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
	52	9570	135
5-55	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
6-7	5	1250	69
	6	1500	69
	7	1750	69
	8	2000	84
6-12	9	2250	84
	10	2500	84
	11	2750	84
	12	3000	84
	13	3250	96
6-19	14	3500	96
	15	3750	96
	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
	20	5000	105
	21	5250	105
6-22	22	5500	105
	23	5750	115
	24	6000	115
6-27	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
	28	7000	118
6-31	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
	32	8000	127
6-37	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
	36	9000	135
	37	9250	135
6-42	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
	41	10250	135
	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
6-48	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
6-55	54	13500	154
	55	13750	154

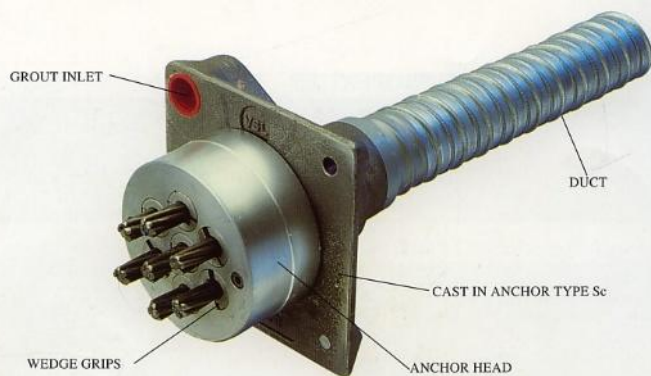
Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.

2. Duct diameters are for corrugated steel duct.

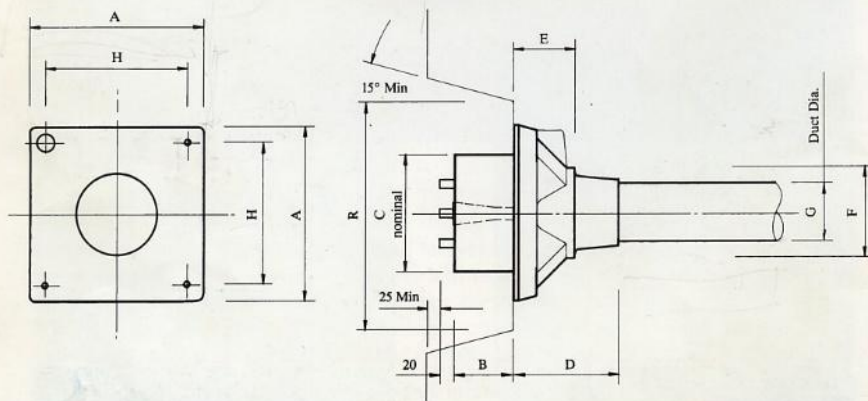
3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal

4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.

5. For special applications other strand and tendon capacities are available.



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc  
LIVE END



TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
	5-48	430	122	300	340	161	233	127	365	750
	5-55	465	142	320	340	160	400	135	400	750
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
	*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900
	*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900

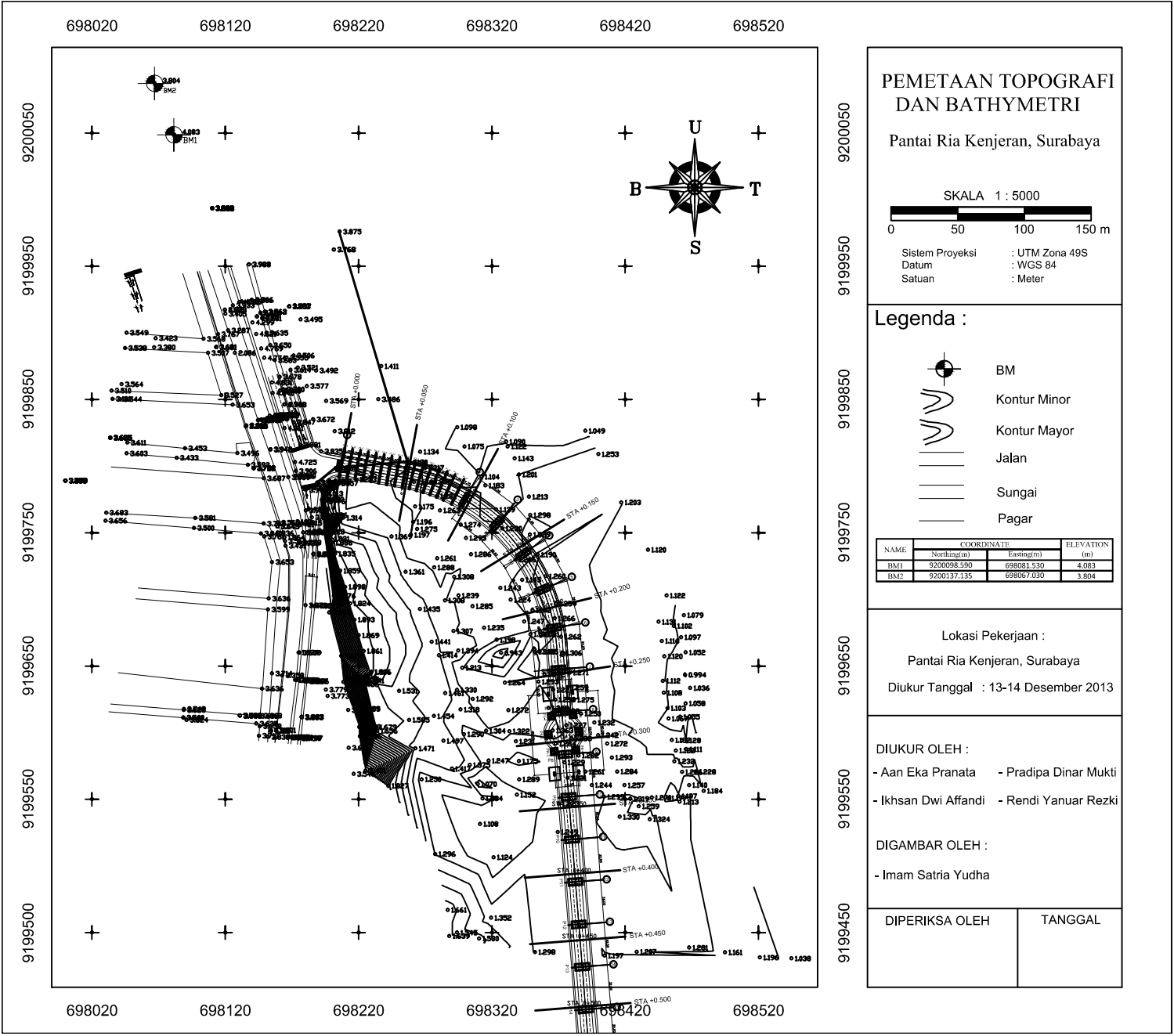
Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.

Refer VSL office for details.

\*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.

**GAMBAR  
EKSISTING**





PEMETAAN TOPOGRAFI  
DAN BATHYMETRI

Pantai Ria Kenjeran, Surabaya

SKALA 1 : 5000



Sistem Proyeksi : UTM Zona 49S  
Datum : WGS 84  
Satuan : Meter

Legenda :

- BM
- Kontur Minor
- Kontur Mayor
- Jalan
- Sungai
- Pagar

NAME	COORDINATE		ELEVATION
	Northing(m)	Eastng(m)	(m)
BM1	9200098.590	698081.530	4.083
BM2	9200137.135	698087.030	3.804

Lokasi Pekerjaan :

Pantai Ria Kenjeran, Surabaya

Diukur Tanggal : 13-14 Desember 2013

DIUKUR OLEH :

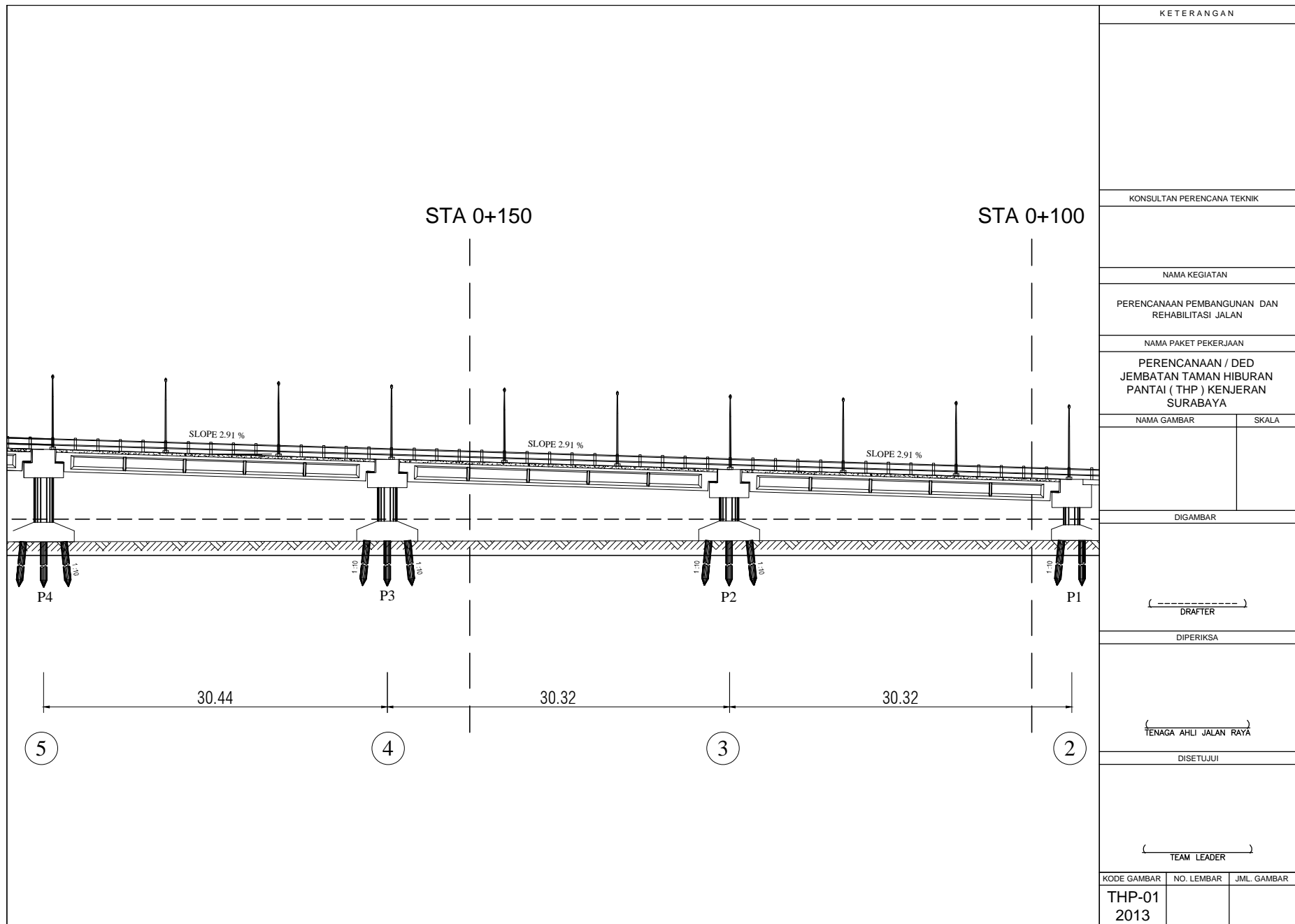
- Aan Eka Pranata - Pradipa Dinar Mukti  
- Ikhsan Dwi Affandi - Rendi Yanuar Rezki

DIGAMBAR OLEH :

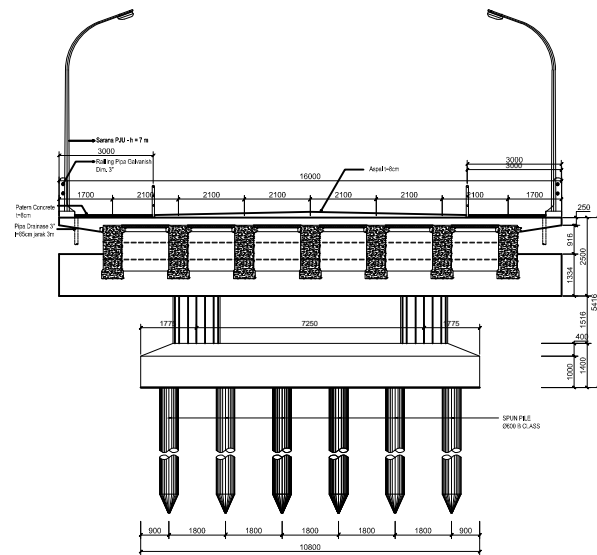
- Imam Satria Yudha

DIPERIKSA OLEH

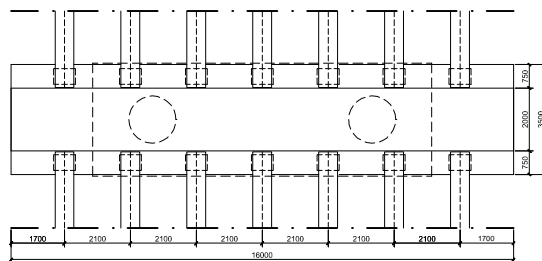
TANGGAL



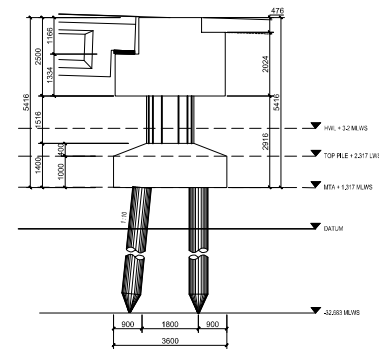




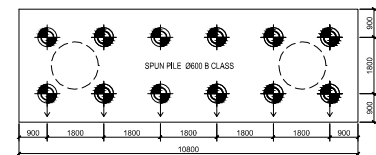
**POTONGAN MELINTANG P-1**  
skala 1 : 200



**HAMMER HEAD P-1**  
skala 1 : 200



**TAMPAK SAMPIING P-1**  
skala 1 : 200



**PILING PLAN P-1**  
skala 1 : 200

## KETERANGAN

## KONSULTAN PERENCANA TEKNIK

## NAMA KEGIATAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAN REHABILITASI JALAN

## NAMA PAKET PEKERJAAN

PERENCANAAN / DED JEMBATAN TAMAN HIBURAN PANTAI ( THP ) KENJERAN SURABAYA

## NAMA GAMBAR

## SKALA

## DIGAMBAR

( DRAFTER )

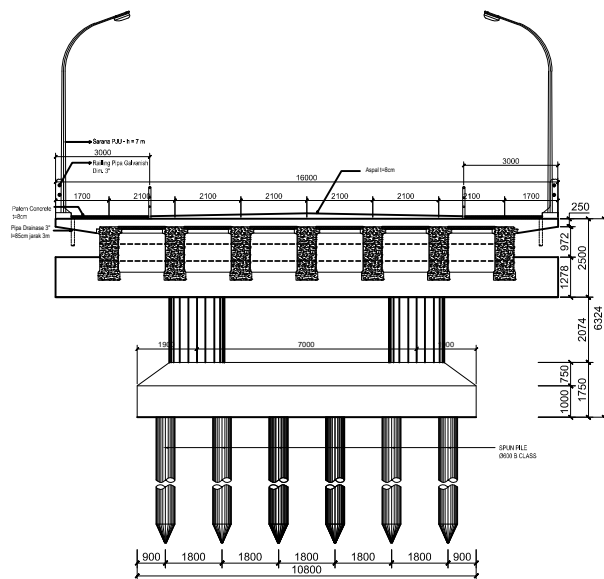
## DIPERIKSA

( TENAGA AHLI JALAN RAYA )

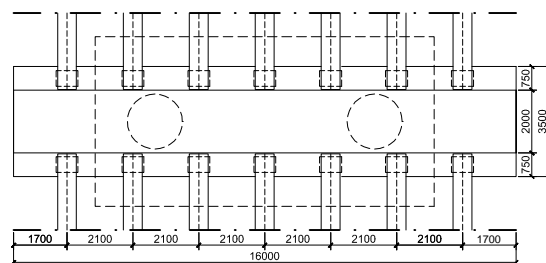
## DISETUJUI

( TEAM LEADER )

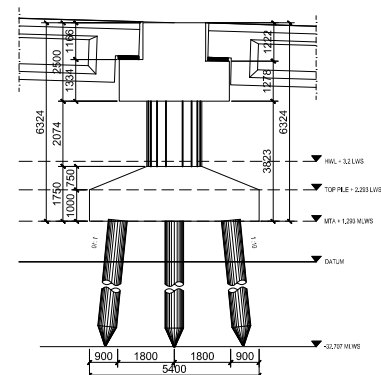
KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
THP-01 2013	09	



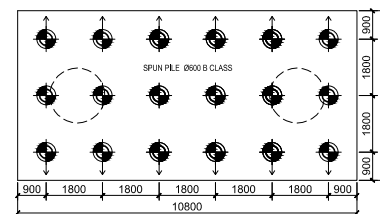
**POTONGAN MELINTANG P-2**  
skala 1 : 200



**HAMMER HEAD P-2**  
skala 1 : 200



**TAMPAK SAMPING P-2**  
skala 1 : 200



**PILING PLAN P-2**  
skala 1 : 200

KETERANGAN

KONSULTAN PERENCANA TEKNIK

NAMA KEGIATAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAN  
REHABILITASI JALAN

NAMA PAKET PEKERJAAN

PERENCANAAN / DED  
JEMBATAN TAMAN HIBURAN  
PANTAI ( THP ) KENJERAN  
SURABAYA

NAMA GAMBAR

SKALA

DIGAMBAR

( DRAFTER )

DIPERIKSA

( TENAGA AHLI JALAN RAYA )

DISETUJUI

( TEAM LEADER )

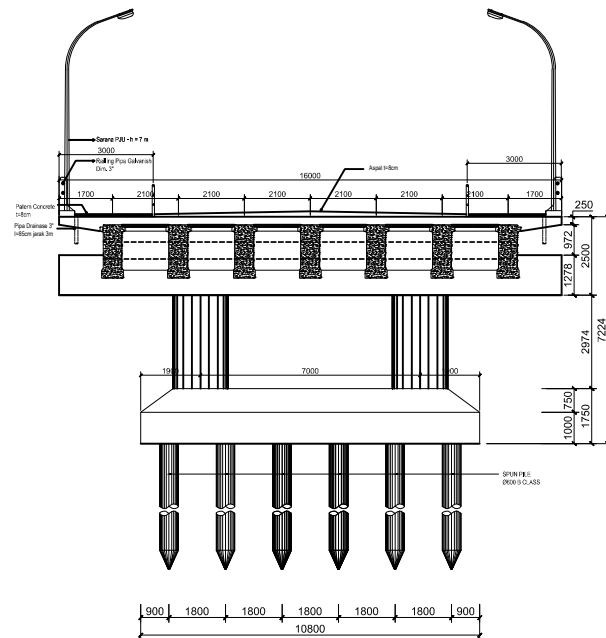
KODE GAMBAR

NO. LEMBAR

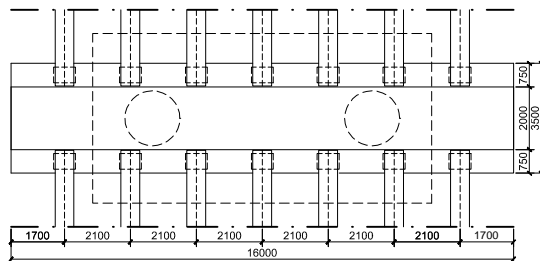
JML. GAMBAR

THP-01  
2013

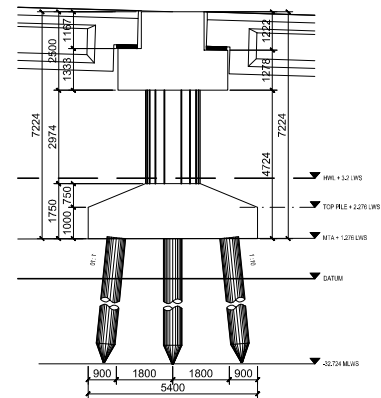
10



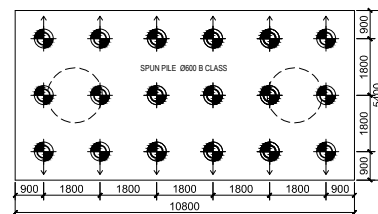
**POTONGAN MELINTANG P-3**  
skala 1 : 200



**HAMMER HEAD P-3**  
skala 1 : 200



**TAMPAK SAMPING P-3**  
skala 1 : 200



**PILING PLAN P-3**  
skala 1 : 200

## KETERANGAN

## KONSULTAN PERENCANA TEKNIK

## NAMA KEGIATAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAN REHABILITASI JALAN

## NAMA PAKET PEKERJAAN

PERENCANAAN / DED JEMBATAN TAMAN HIBURAN PANTAI ( THP ) KENJERAN SURABAYA

## NAMA GAMBAR

## SKALA

## DIGAMBAR

( DRAFTER )

## DIPERIKSA

( TENAGA AHLI JALAN RAYA )

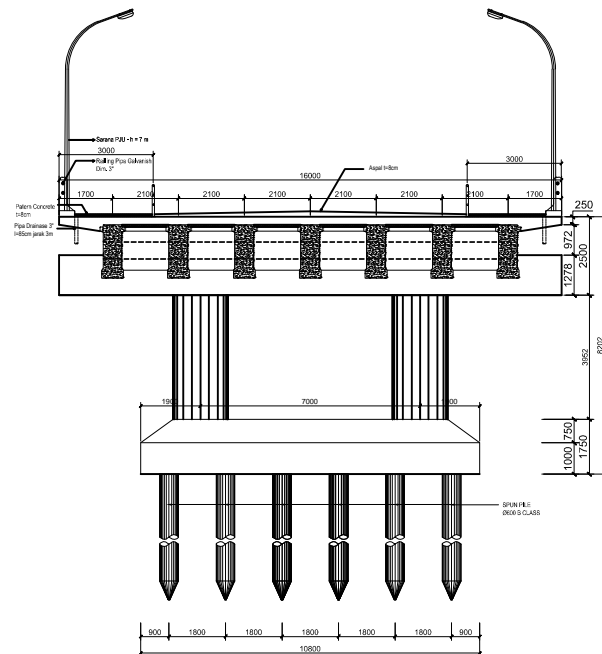
## DISETUJUI

( TEAM LEADER )

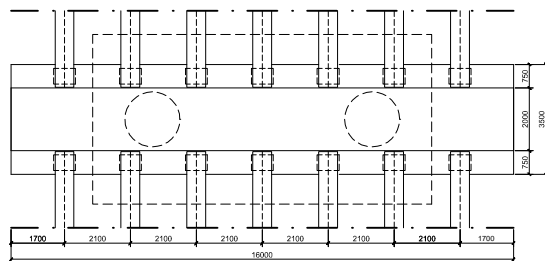
KODE GAMBAR NO. LEMBAR JML. GAMBAR

THP-01  
2013

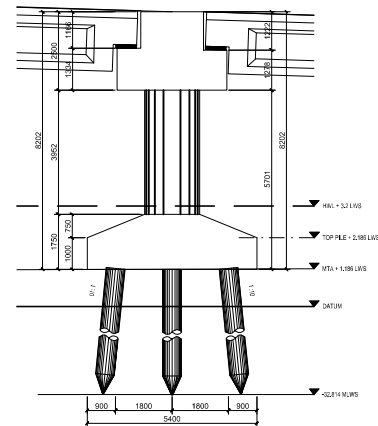
11



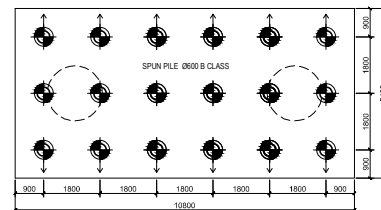
**POTONGAN MELINTANG P-4**  
skala 1 : 200



**HAMMER HEAD P-4**  
skala 1 : 200



**TAMPAK SAMPIING P-4**  
skala 1 : 200



**PILING PLAN P-4**  
skala 1 : 200

## KETERANGAN

## KONSULTAN PERENCANA TEKNIK

## NAMA KEGIATAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAN REHABILITASI JALAN

## NAMA PAKET PEKERJAAN

PERENCANAAN / DED JEMBATAN TAMAN HIBURAN PANTAI ( THP ) KENJERAN SURABAYA

## NAMA GAMBAR

## SKALA

## DIGAMBAR

( ----- )  
DRAFTER

## DIPERIKSA

( ----- )  
TENAGA AHLI JALAN RAYA

## DISETUJUI

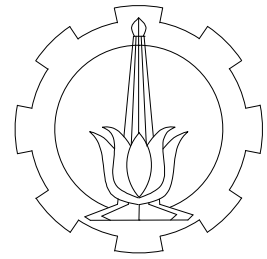
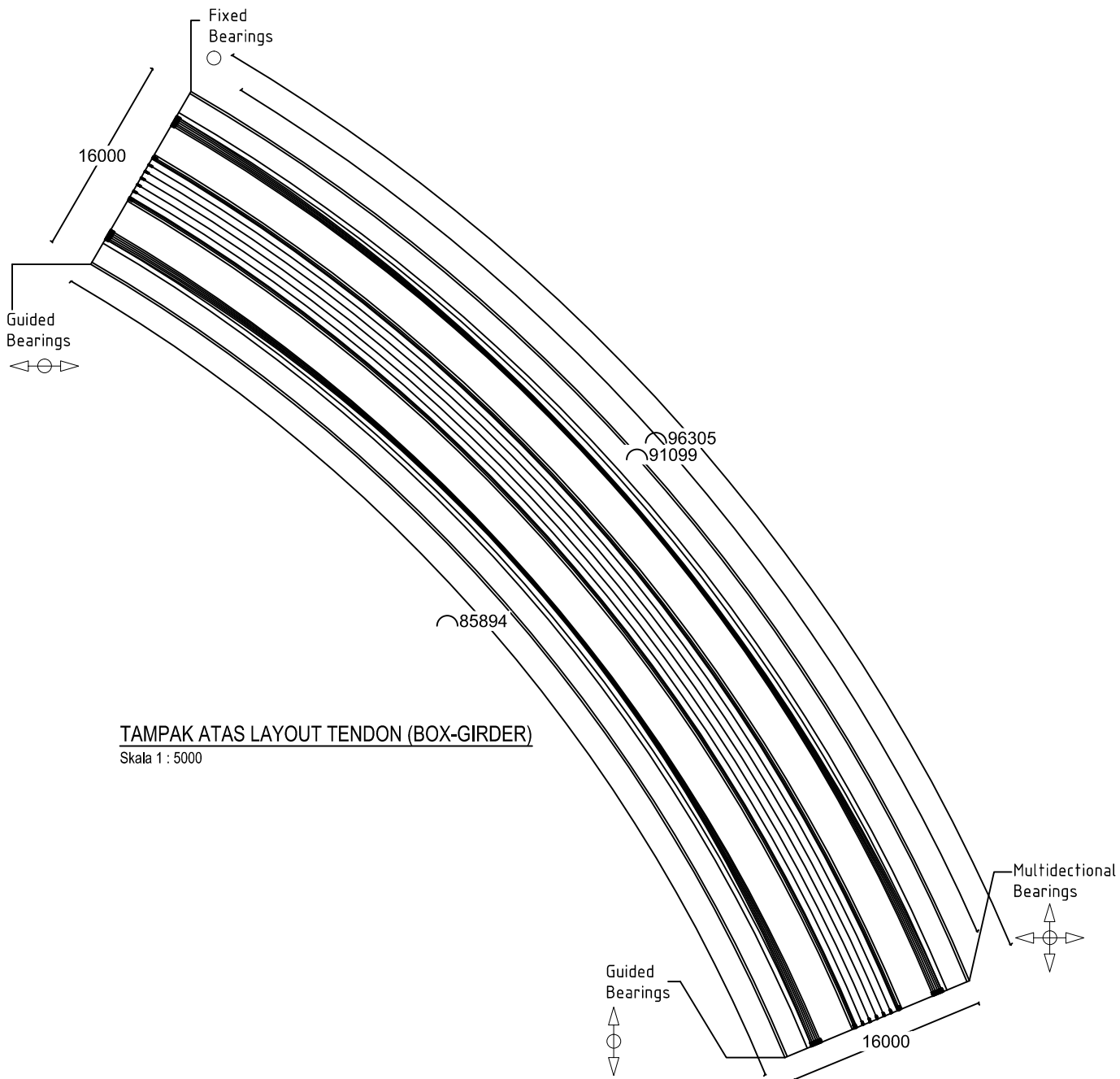
( ----- )  
TEAM LEADER

KODE GAMBAR NO. LEMBAR JML. GAMBAR

THP-01  
2013

12

**GAMBAR  
SETELAH MODIFIKASI**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
*CONCRETE BOX GIRDER*  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

**TAMPAK ATAS  
TENDON**

SKALA

**1:5000**

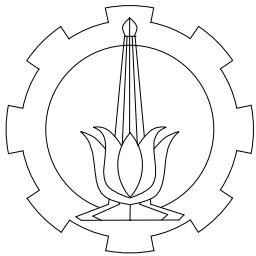
NO. LEMBAR

**01**

JML. LEMBAR

**14**

KETERANGAN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
*CONCRETE BOX GIRDER*  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

POTONGAN  
MEMANJANG ELEVASI  
TENDON

SKALA

1:5500

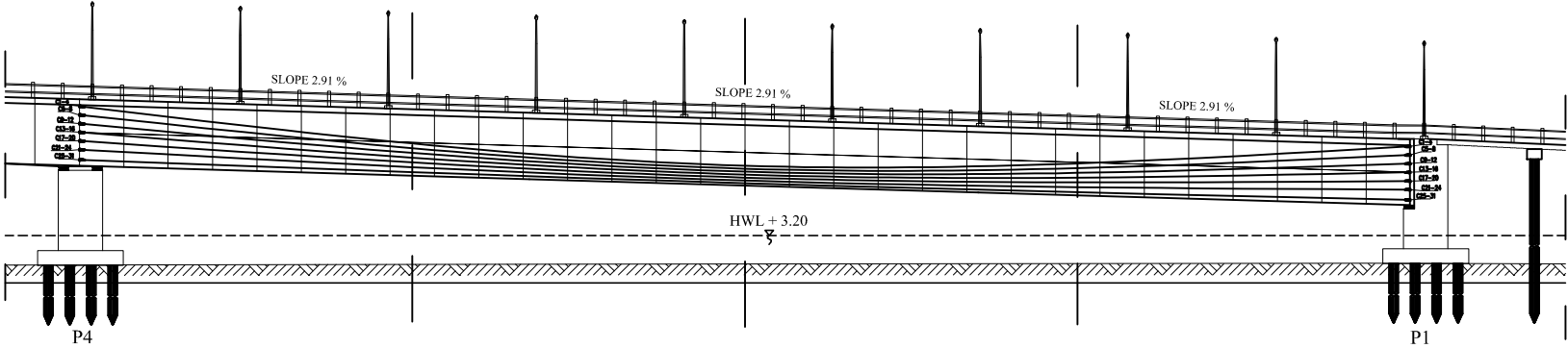
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

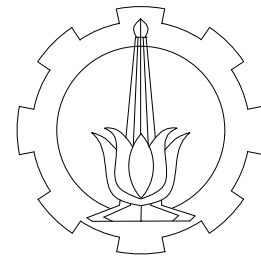
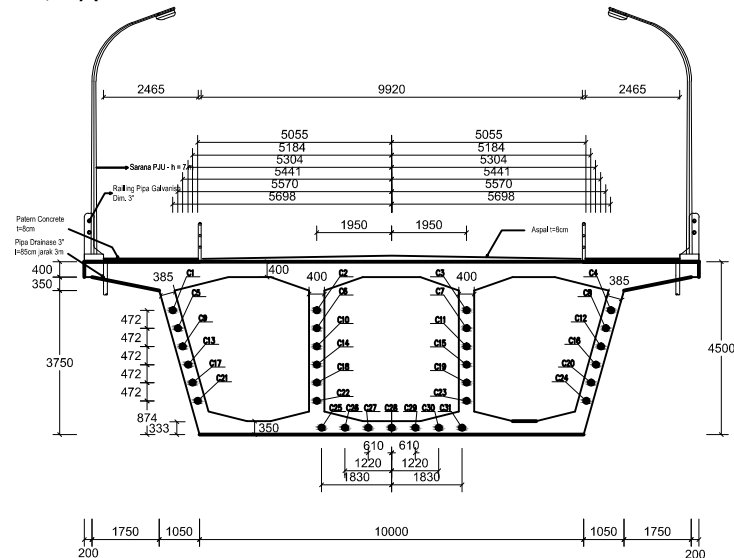
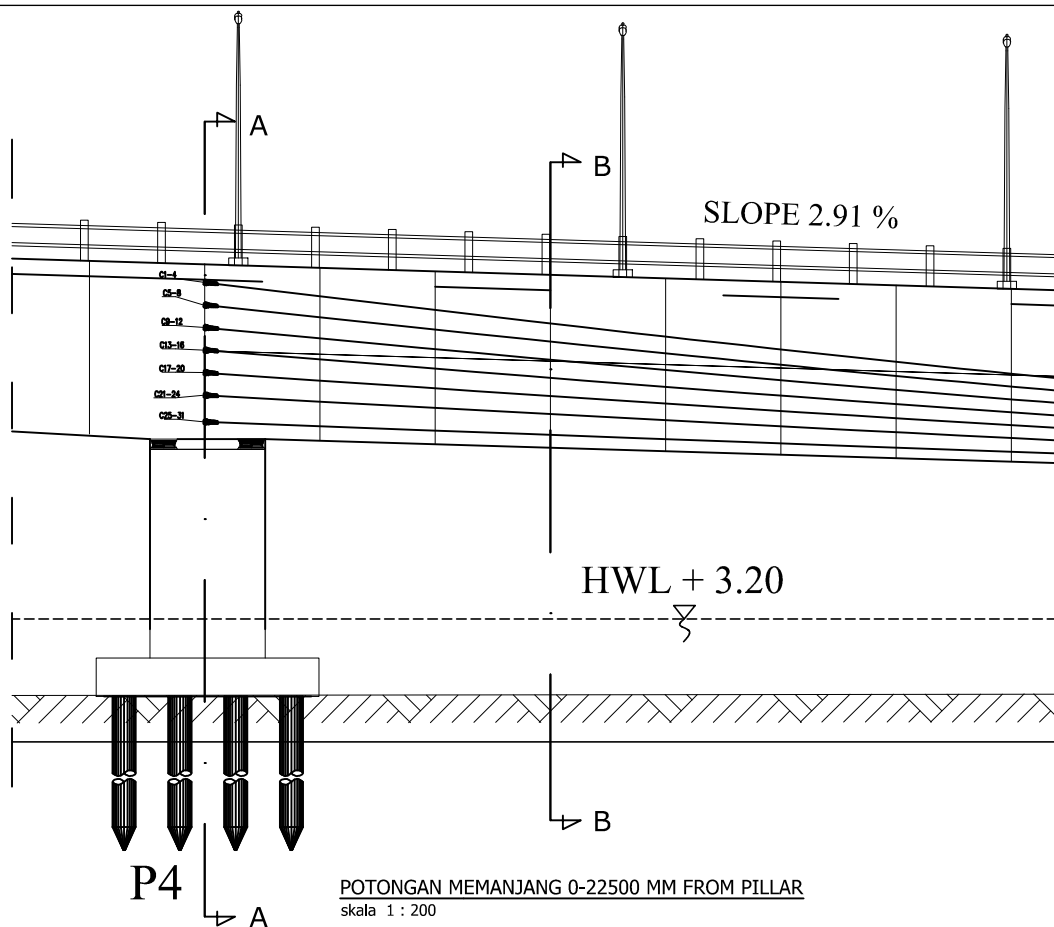
02

14

KETERANGAN



POTONGAN MEMANJANG ELEVASI TENDON (BOX-GIRDER)  
Skala 1 : 5500



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

ELEVASI TENDON  
0-22.5 M FROM PILLAR

SKALA

1:200

NO. LEMBAR

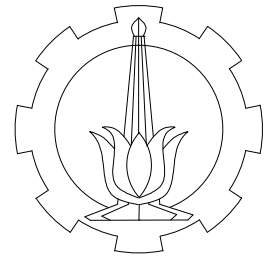
03

JML. LEMBAR

14

KETERANGAN





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

ELEVASI TENDON  
22.5-45 M FROM  
PILLAR

SKALA

1:200

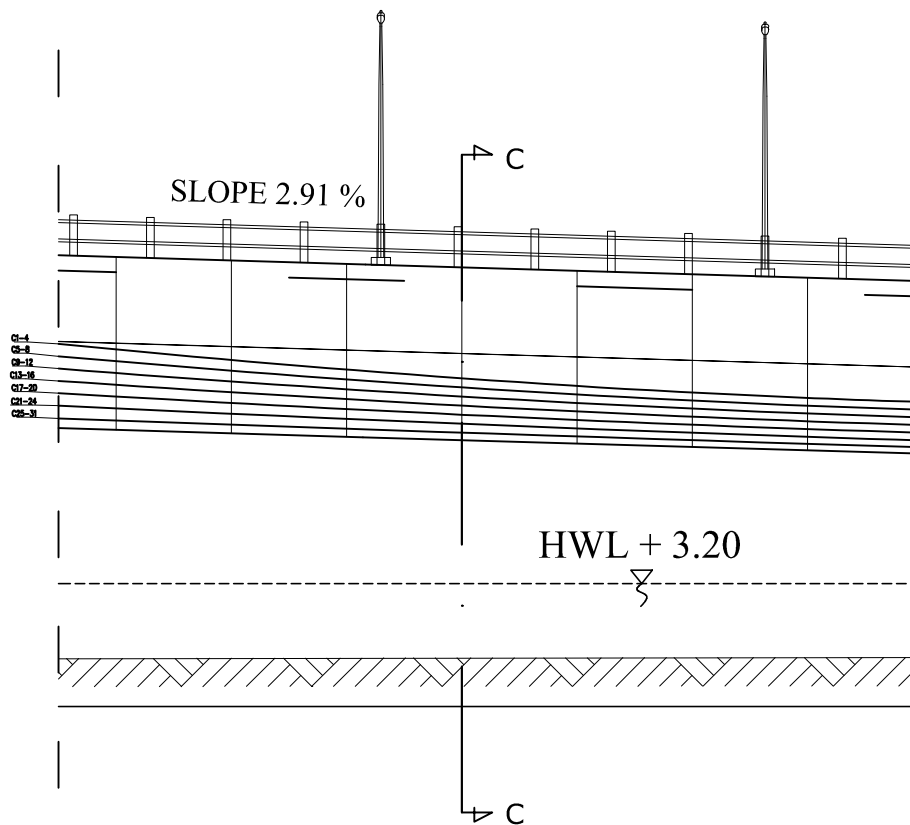
NO. LEMBAR

04

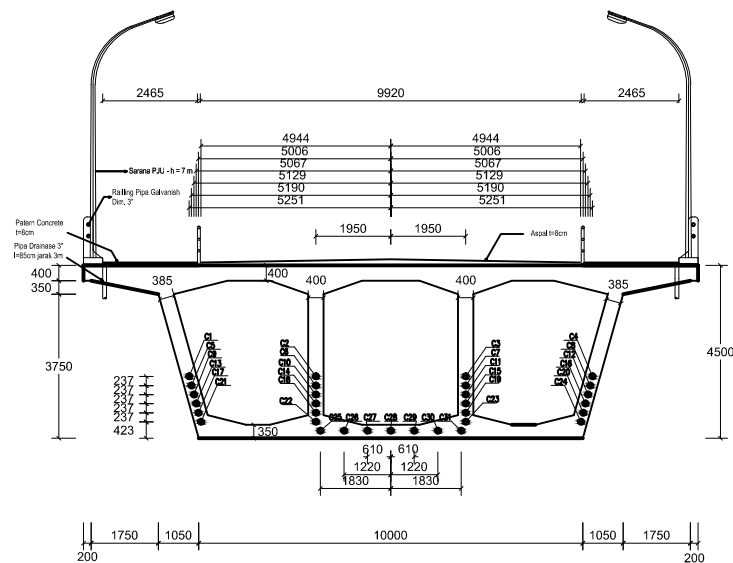
JML. LEMBAR

14

KETERANGAN



POTONGAN MEMANJANG 22500-45000 MM FROM PILLAR  
skala 1 : 200



POTONGAN C-C  
skala 1 : 200



MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

ELEVASI TENDON  
45-67.5 M FROM PILLAR

1:200

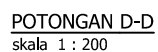
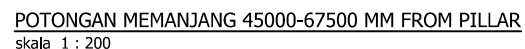
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR
-------------

05

14

KETERANGAN





MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

ELEVASI TENDON  
67.5-90 M FROM PILLAR

1:200

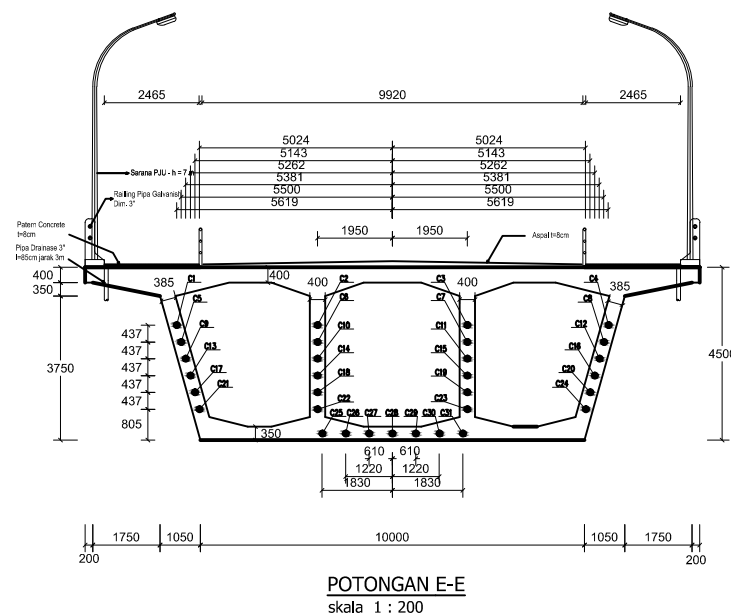
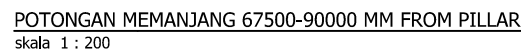
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR
-------------

06

14

KETERANGAN





MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

POTONGAN A-A

1:250

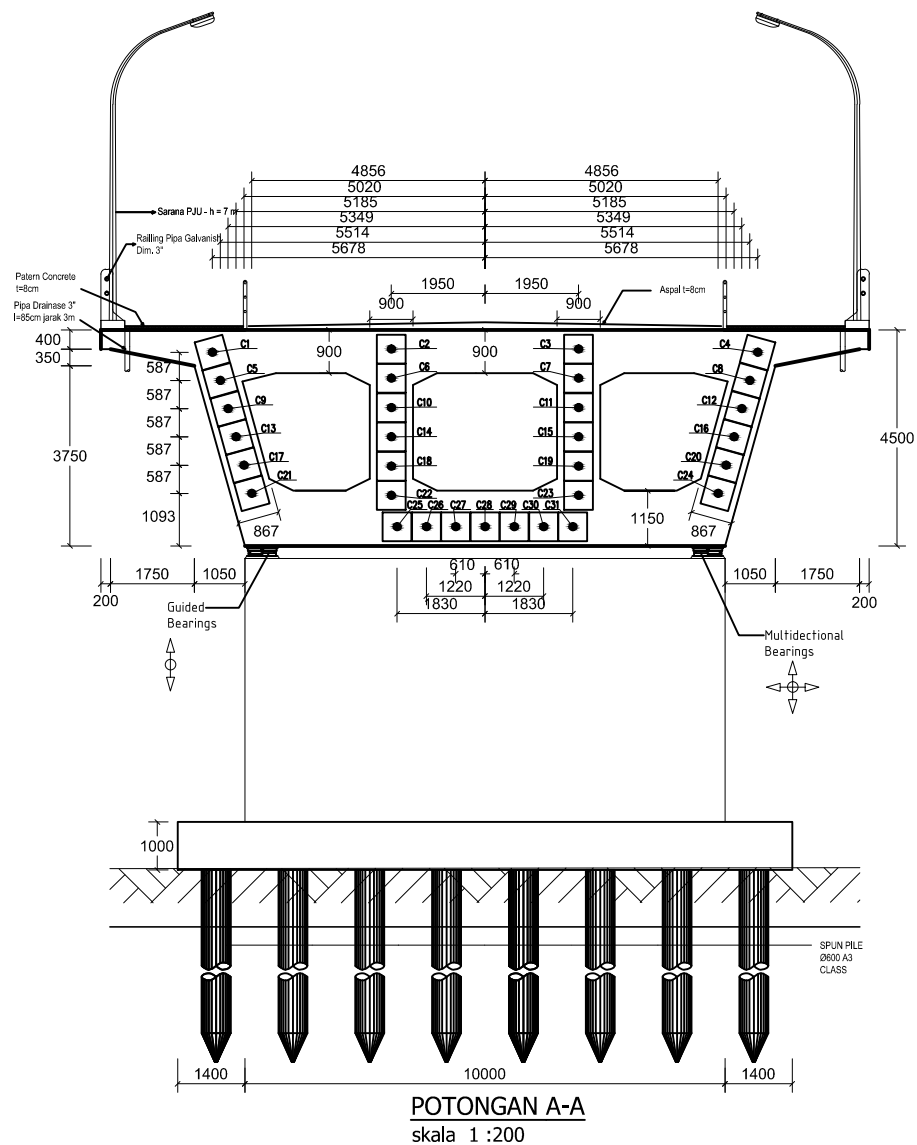
NO. LEMBAR

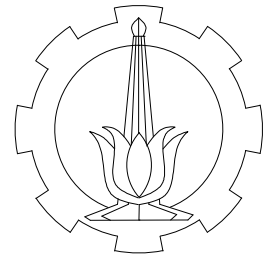
JML. LEMBAR
-------------

07

14

KETERANGAN





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

#### JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

#### DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

#### MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

#### JUDUL GAMBAR

POTONGAN F-F

#### SKALA

1:250

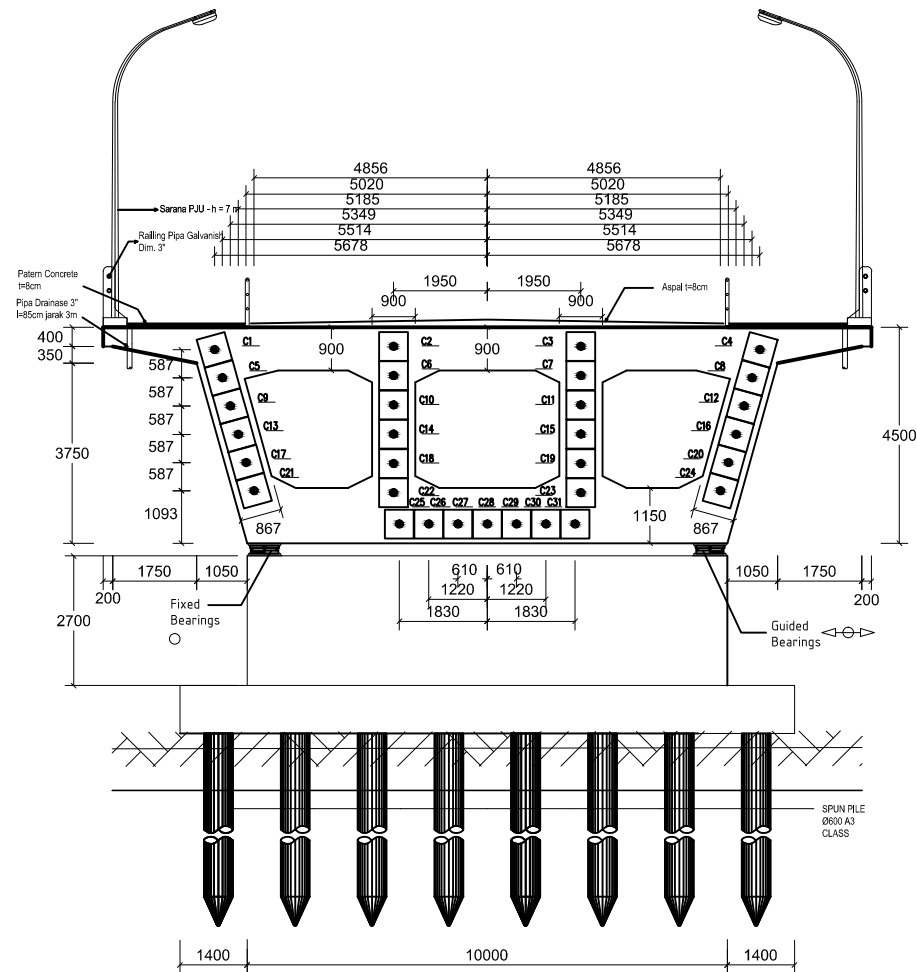
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

08

14

#### KETERANGAN



**POTONGAN F-F**  
skala 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN  
TUMPUAN

SKALA

1:250

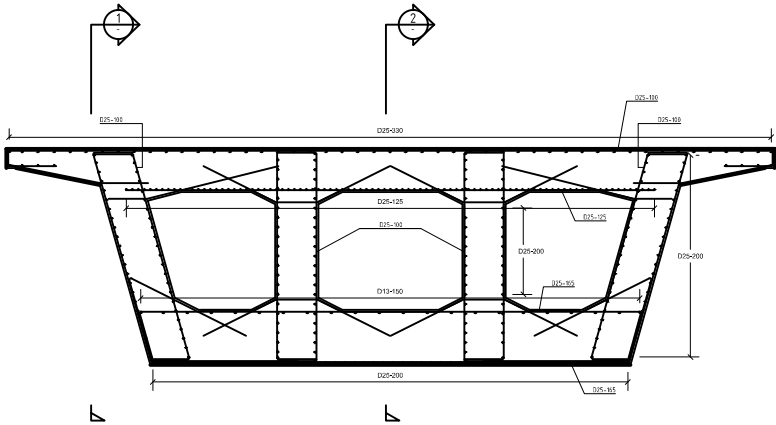
NO. LEMBAR

09

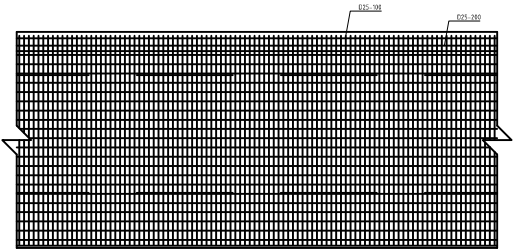
JML. LEMBAR

14

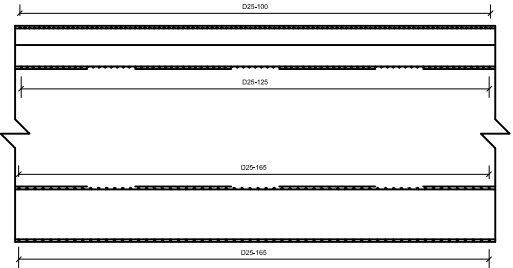
KETERANGAN



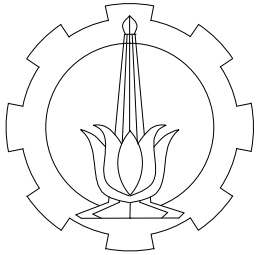
POTONGAN MELINTANG PENULANGAN BOX GIRDER (TUMPUAN)  
skala 1 : 250



POTONGAN - 1  
skala 1 : 250



POTONGAN - 2  
skala 1 : 250



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN  
TUMPUAN

SKALA

1:250

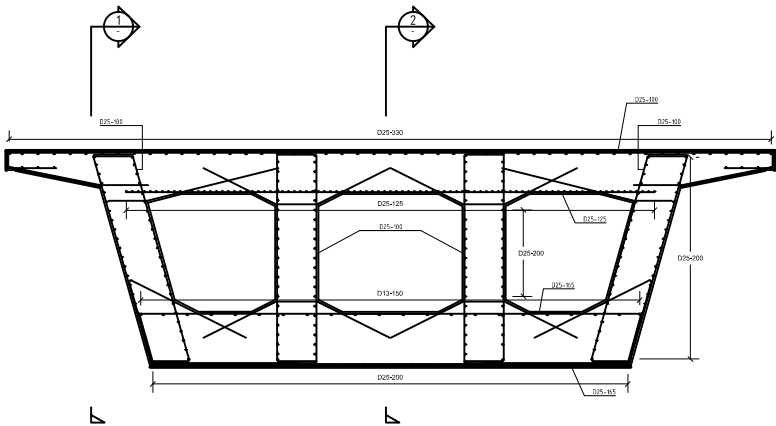
NO. LEMBAR

09

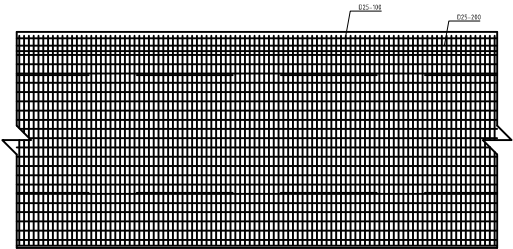
JML. LEMBAR

14

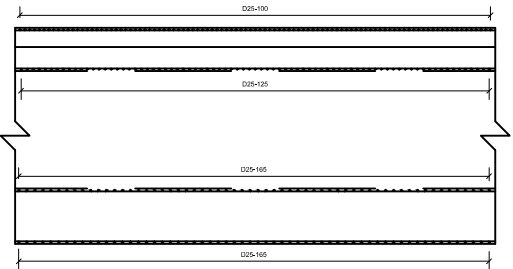
KETERANGAN



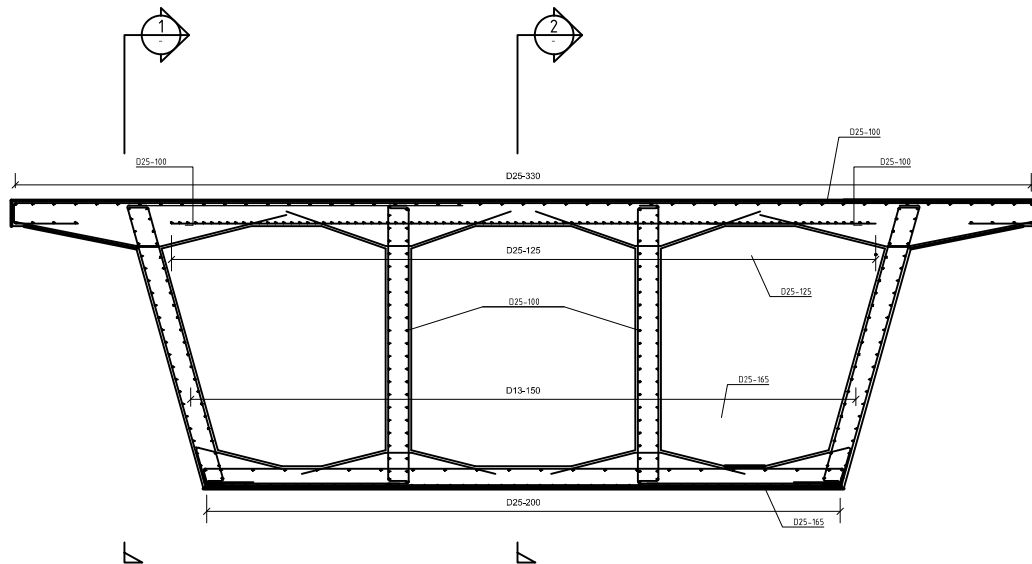
POTONGAN MELINTANG PENULANGAN BOX GIRDER (TUMPUAN)  
skala 1 : 250



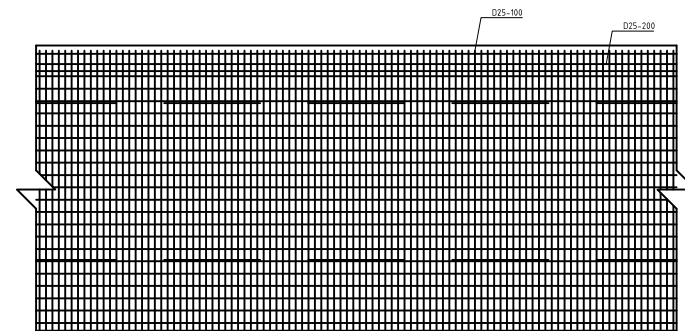
POTONGAN - 1  
skala 1 : 250



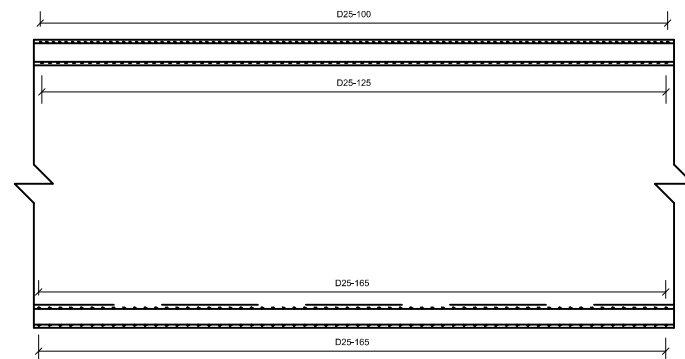
POTONGAN - 2  
skala 1 : 250



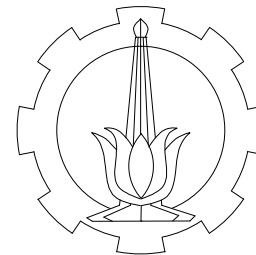
**POTONGAN MELINTANG PENULANGAN BOX GIRDER (LAPANGAN)**  
skala 1 : 250



**POTONGAN - 1**  
skala 1 : 250



**POTONGAN - 2**  
skala 1 : 250



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN  
LAPANGAN

SKALA

1:250

NO. LEMBAR

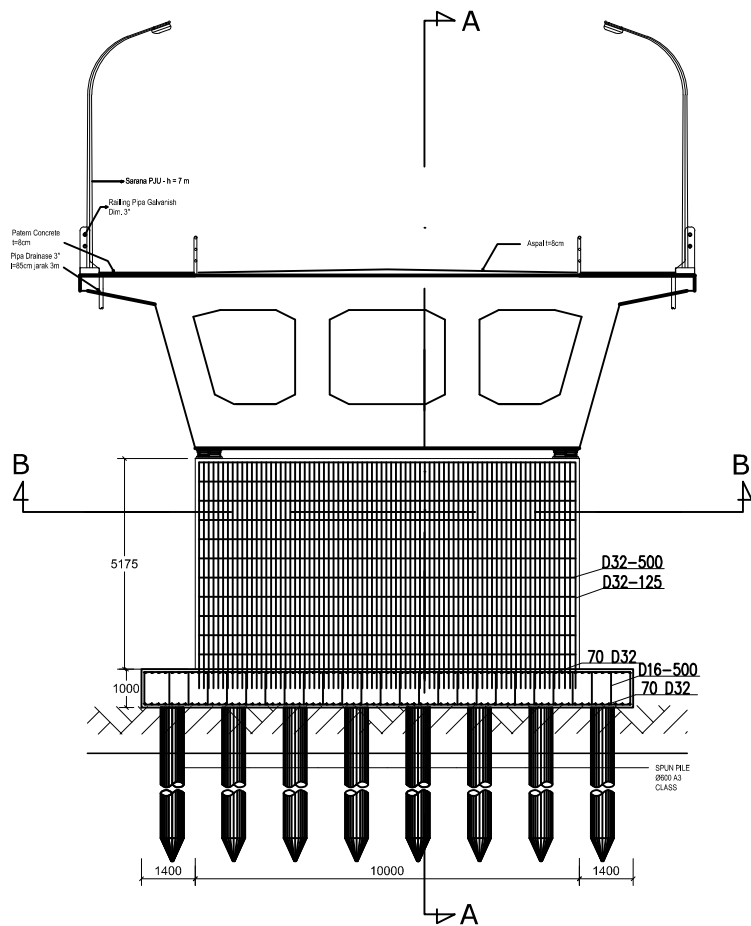
10

JML. LEMBAR

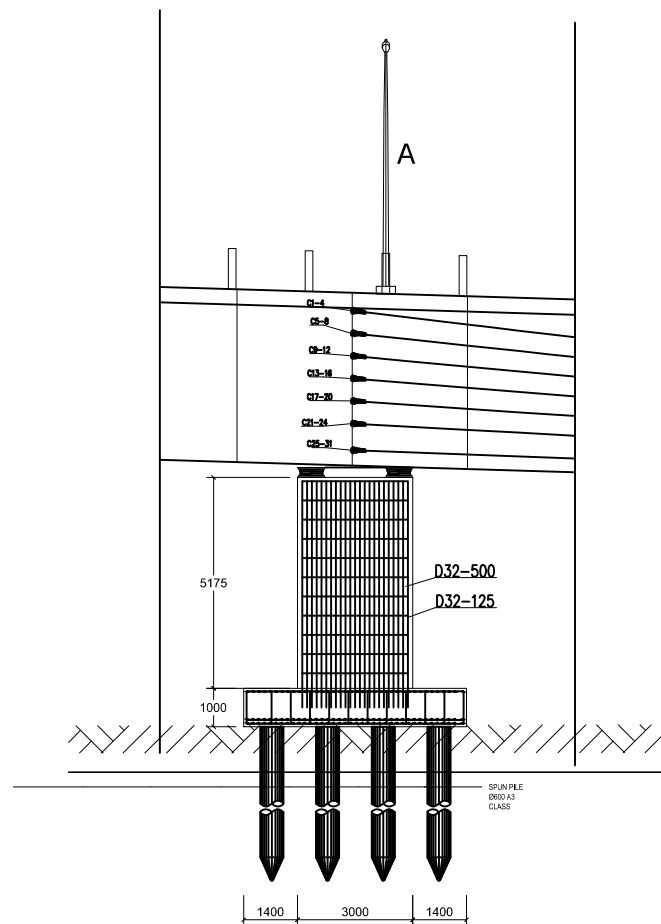
14

KETERANGAN

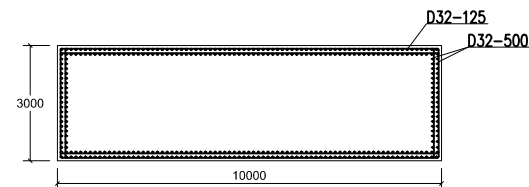




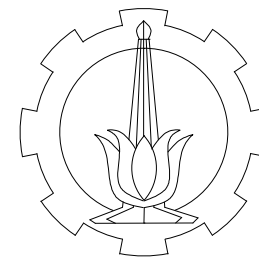
RENCANA TULANGAN PILAR P4  
skala 1 : 200



POTONGAN A-A  
skala 1 : 200



POTONGAN B-B  
skala 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN P4

SKALA

1:200

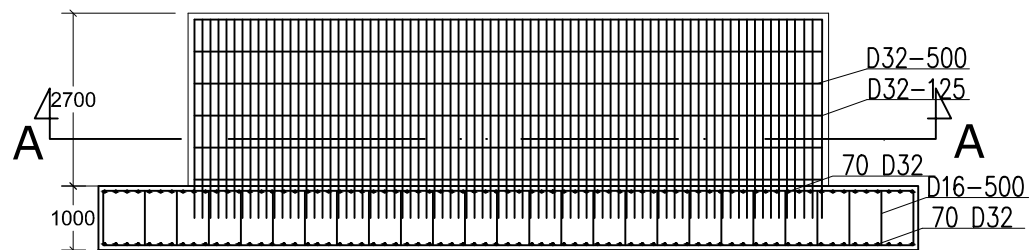
NO. LEMBAR

11

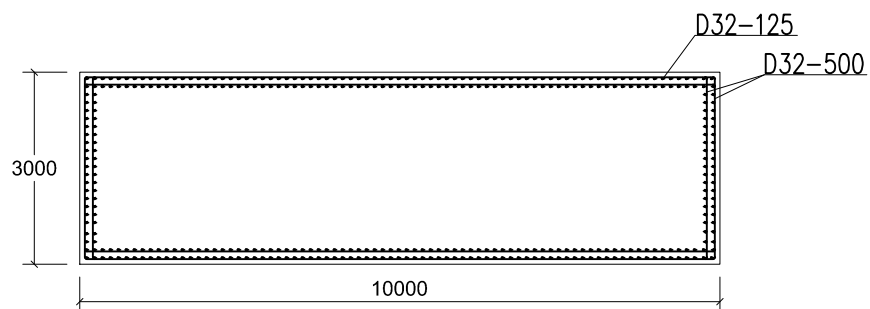
JML. LEMBAR

14

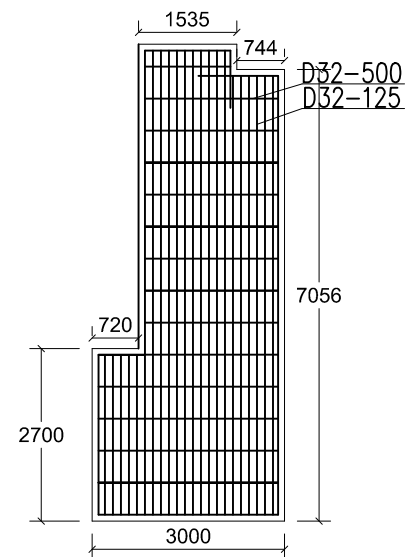
KETERANGAN



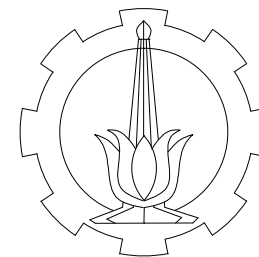
**RENCANA TULANGAN PILAR P1**  
skala 1 : 200



**POTONGAN A-A**  
skala 1 : 200



**POTONGAN B-B**  
skala 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN P1

SKALA

1:200

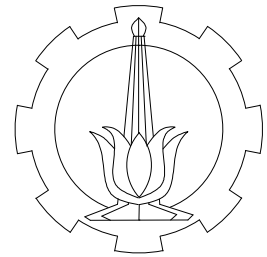
NO. LEMBAR

12

JML. LEMBAR

14

KETERANGAN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
*CONCRETE BOX GIRDER*  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DENAH TIANG  
PANCANG

SKALA

1:50

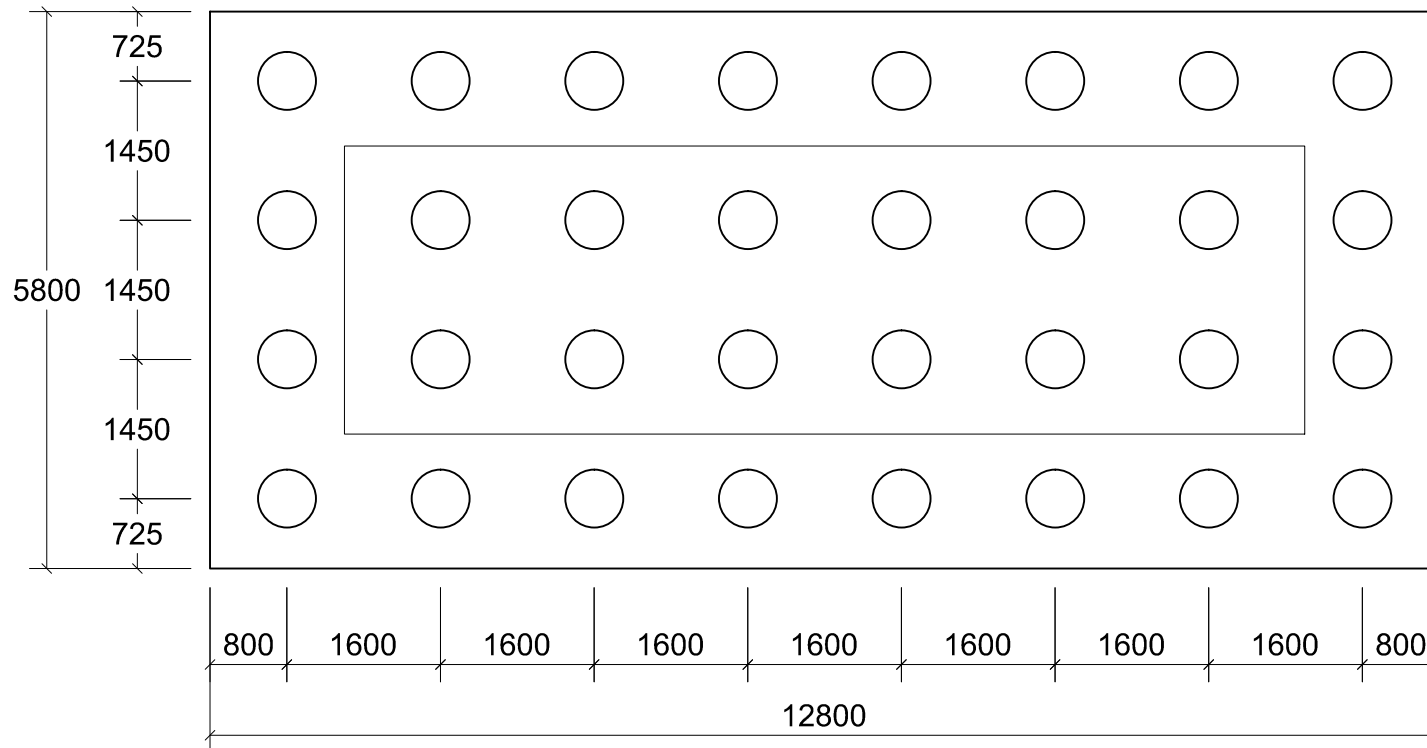
NO. LEMBAR

13

JML. LEMBAR

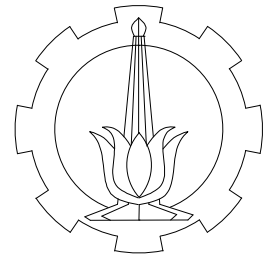
14

KETERANGAN



**DENAH TIANG PANCANG**

skala 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN THP KENJERAN  
MENGUNAKAN STRUKTUR  
CONCRETE BOX GIRDER  
PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

1. DATA IRANATA, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

AZKIYA NABILA  
(3112100022)

JUDUL GAMBAR

DETAIL PILE CAP

SKALA

1:200

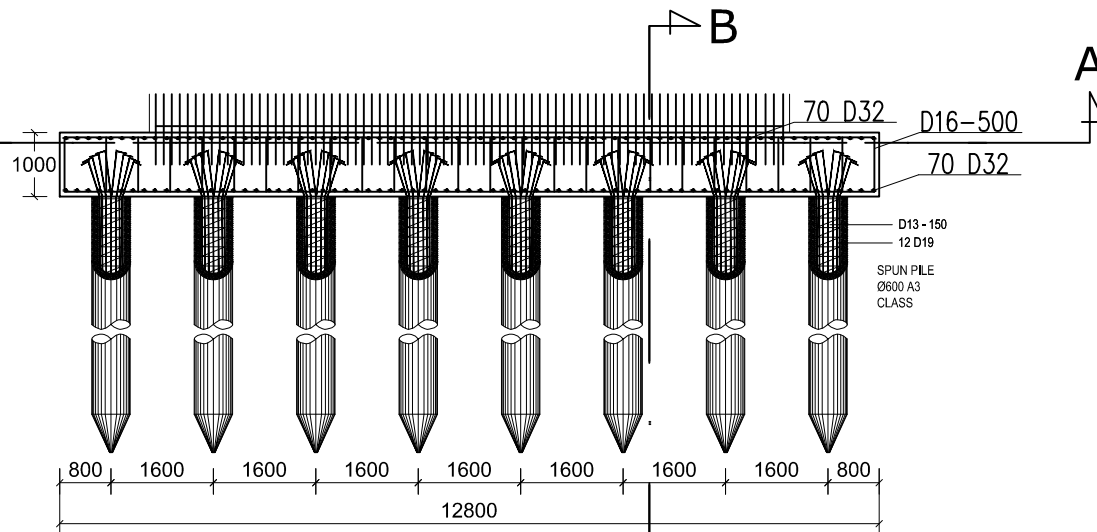
NO. LEMBAR

14

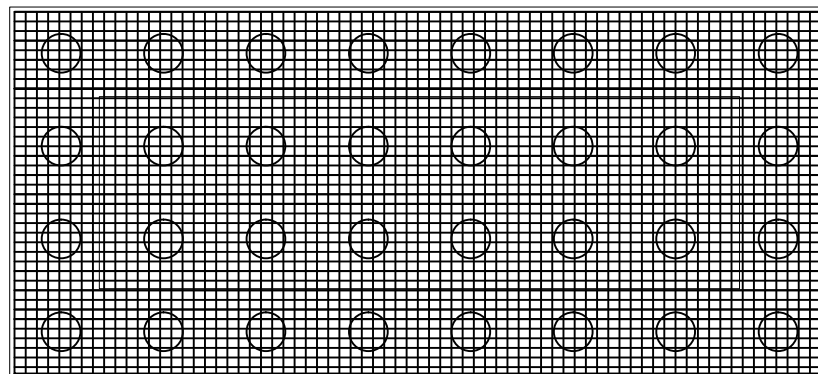
JML. LEMBAR

14

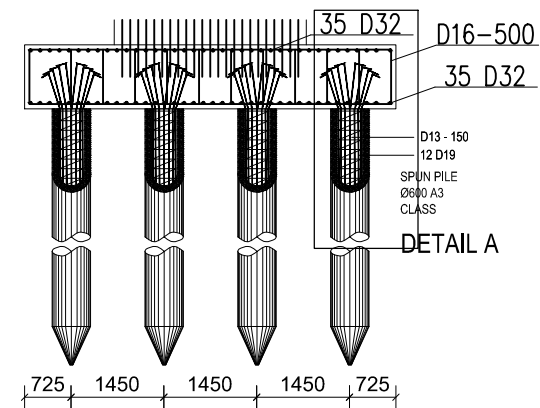
KETERANGAN



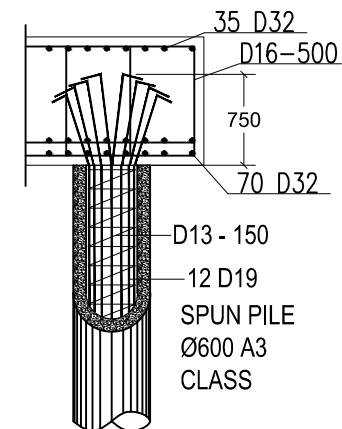
**DETAIL PILE CAP**  
skala 1 : 200



**POTONGAN A-A**  
skala 1 : 200



**POTONGAN B-B**  
skala 1 : 200



**DETAIL A**  
skala 1 : 100

## BIODATA PENULIS



**Azkiya Nabila** lahir pada tanggal 23 Agustus 1994 di Surabaya, Jawa Timur. Setelah menempuh pendidikan formal di SDN Rungkut Kidul II/581, SMP Negeri 35 Surabaya, dan SMA Negeri 16 Surabaya, penulis melanjutkan pendidikan di S1 Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112100022.

Penulis sempat aktif di organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS). Penulis juga pernah mengikuti lomba karya tulis dan yang terdani oleh DIKTI di antaranya yaitu “Jakarta River Front City sebagai Solusi Banjir di Bantaran Sungai Ciliwung Jakarta.

Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: [nabila.azkiya@gmail.com](mailto:nabila.azkiya@gmail.com)

